



TUGAS AKHIR – TM 091486

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING*
TERHADAP KARAKTERISTIK BENDING
KOMPOSIT *POLYESTER-HOLLOW GLASS*
MICROSPHERES iM30K**

**SCANIA MARIELLA SVENSKA
NRP. 2111 100 075**

**Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanarko, ST., MSc.
NIP. 198202092012121001**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT – TM 091486

**THE EFFECT OF VOLUME FRACTION
VARIATIONS, CURING AND POST-CURING
TEMPERATURE TO BENDING PROPERTIES OF
POLYESTER-HOLLOW GLASS MICROSPHERES
IM30K COMPOSITE**

**SCANIA MARIELLA SVENSKA
NRP. 2111 100 075**

**Supervisor
Wahyu Wijanarko, ST., MSc.
NIP. 198202092012121001**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING* TERHADAP
KARAKTERISTIK BENDING KOMPOSIT POLYESTER-
HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**SCANIA MARIELLA SVENSKA
NRP. 2111 100 075**

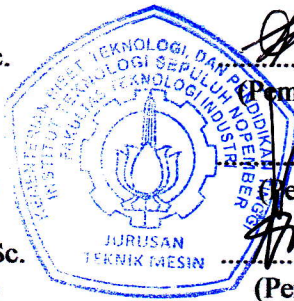
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Wahyu Wijanarko, S.T., MSc.
(NIP. 198202092012121001)

2. Dr. Eng. Sutikno, S.T., MT
(NIP. 197407032000031001)

3. Ika Dewi Wijayanti, S.T., MSc.
(NIP. 198512022014042002)

4. Ir. Hari Subiyanto, MSc.
(NIP. 196006231988031002)



.....
(Pembimbing)

.....
(Penguji I)

.....
(Penguji II)

.....
(Penguji III)

**SURABAYA
Juli, 2016**

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING
TERHADAP KARAKTERISTIK BENDING KOMPOSIT
POLYESTER-HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K**

Nama Mahasiswa : Scania Mariella Svenska
NRP : 2111 100 075
Jurusan : Teknik Mesin - FTI ITS
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Dengan semakin berkembangnya teknologi di bidang material, mendorong material komposit untuk dapat digunakan dalam aplikasi produk baik di dalam bidang otomotif dan dirgantara, maupun dalam bidang militer. Keunggulan dari material komposit ini adalah *strength to weight ratio* yang tinggi, kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi dibandingkan dengan logam. Salah satu pengembangan material komposit adalah dengan penambahan *hollow glass microspheres* (HGM) sebagai *reinforcement* karena keunggulan yang dimiliki yaitu massa yang ringan, konduktivitas thermal rendah, dan ketahanan terhadap tegangan kompresi yang tinggi.

Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan resin polyester dengan HGM. Spesimen uji bending diproduksi sesuai dimensi ASTM D 790 dengan variasi fraksi volume HGM 10% sampai 17% dengan penambahan 1%. Spesimen menerima tiga perlakuan yang berbeda yaitu, spesimen kode A *dicuring* pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam, spesimen kode B *dicuring* pada temperatur kamar lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan spesimen kode C *dicuring* pada temperatur 90°C selama 5 jam. Setelah proses

produksi, dilakukan pengujian bending untuk mengetahui perubahan sifat mekanik yang terjadi pada komposit.

Hasil yang didapatkan adalah tegangan bending komposit maksimum terdapat pada fraksi volume HGM sebesar 10% dengan nilai 126.61 Mpa pada temperatur *curing* 27°C. Komposit dengan perlakuan *curing* 27°C selama 24 jam memiliki nilai tegangan bending yang paling maksimal. Hal ini dikarenakan komposit yang *dicuring* pada temperatur ruang memiliki ikatan *crosslink* yang lebih banyak dan ikatan *interface* yang lebih kuat sehingga nilai tegangan bending pada komposit akan meningkat.

Kata kunci: bending, curing, hollow glass microspheres, komposit, polyester, post-curing.

THE EFFECT OF VOLUME FRACTION VARIATIONS, CURING AND POST-CURING TEMPERATURE TO BENDING PROPERTIES OF POLYESTER-HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K COMPOSITE

Promoter	: Scania Mariella Svenska
NRP	: 2111 100 075
Departement	: Mechanical Engineering - FTI ITS
Supervisor	: Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The advancement of technology in the field of materials makes composite material to be applied in the application on aspects such as in automotive, aerospace as well as in military. The advantages of composite material is its high strength to weight ratio, its capability and its firmness and high tolerance to corrosion compared to metal. One of the composite material developments is the addition of Hollow Glass Microsphere (HGM) as the reinforcement due to its advantages such as airy mass, low thermal conductivity and resistance to a high compressive stresses.

This research is conducted by mixing the polyester resin with HGM. The bending test specimen dimensions are manufactured according to ASTM D 790 with fraction volume variation on 10% to 17% with 1% addition. Specimens will receive 3 different treatments as follows. Specimen A will be in curing in room temperature ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) in 24 hours. Specimen B will be in curing in room temperature afterwards in post-curing in 90°C temperature. Specimen C will be in curing for 90°C temperature for 5 hours. After the production process, bending test will be conducted to determine the changes of mechanical properties within the composite.

The result obtained is on how the maximum composite stress bending exists in HGM with volume of 10% with 126.61 Mpa on curing temperature of 27°C. The composite with curing treatment of 27°C in 24 hours has the maximum stress bending due to the curing process of its composite in the room temperature has more crosslink binding and stronger interface binding that makes the composite bending stress increasing.

Kata kunci: bending, composite, curing, hollow glass microspheres, polyester, post-curing.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Komposit.....	10
2.2.1 Penguat.....	11
2.2.1 Matriks.....	13
2.3 <i>Polymer matrix composite</i>	14
2.3.1 <i>Resin Unsaturated Polyester</i>	15
2.4 <i>Hollow Glass Microspheres</i>	17
2.5 Aditif.....	20
2.6 Metode Manufaktur <i>Hand Lay Up</i>	20
2.7 Perhitungan Komposit.....	22
2.7.1 Karakteristik Umum.....	22
2.7.2 Karakteristik Campuran.....	23
2.8 Proses <i>Curing</i>	24
2.9 <i>Post-Curing</i>	25
2.10 <i>Rule Of Mixture</i>	25
2.11 Pengujian Spesimen Dengan <i>Three Point Bending</i>	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Persiapan Spesimen.....	31
3.2.1 Diagram Alir Perhitungan.....	31
3.2.2 Contoh Perhitungan.....	33
3.2.3 Variabel Penelitian.....	33

3.3 Material.....	35
3.4 Peralatan yang Digunakan.....	37
3.5 Langkah-langkah Percobaan.....	41
3.5.1 Proses Pembuatan Komposit.....	41
3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit.....	43
3.5.3 Pembentukan Spesimen.....	43
3.6 Perhitungan Massa Jenis Komposit.....	43
3.7 Pelaksanaan Uji Bending.....	44
3.7.1 Spesimen Uji Bending.....	44
3.7.2 Prosedur Pengujian Bending.....	44
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Data Spesimen Uji.....	46
4.2 Data Hasil Pengujian Bending Komposit.....	49
4.2.1 <i>Rule Of Mixture</i>	53
4.2.2 Perbandingan <i>Density</i> Komposit Secara Teori dengan Secara Eksperimen.....	56
4.2.3 Pengaruh Variasi Temperatur <i>Curing</i> Terhadap Tegangan Bending.....	63
4.2.4 Pengaruh Penambahan Volume HGM Terhadap Tegangan Bending.....	65
4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Uji Bending.....	70
4.4 Pengamatan Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i>	73
4.5 Perbandingan Hasil dengan Eksperimen Sebelumnya..	79
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Modulus Elastisitas dan <i>Poisson Ratio</i> pada Komposit Polyester.....	9
Tabel 2.2 Hasil Pengukuran Densitas pada Komposit Polyester-HGM.....	10
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Seri Yukalac 157.....	17
Tabel 2.4 Data Spesifikasi Teknis <i>Hollow Glass Microsphere</i> iM30K.....	19
Tabel 3.1 Variasi Fraksi Volume HGM Variasi A.....	34
Tabel 3.2 Variasi Fraksi Volume HGM Variasi B.....	34
Tabel 3.3 Variasi Fraksi Volume HGM Variasi C.....	35
Tabel 4.1 Dimensi Spesimen Uji Polyester-HGM.....	46
Tabel 4.2 Hasil Uji Bending Material Komposit Variasi A..	50
Tabel 4.3 Hasil Uji Bending Material Komposit Variasi B..	51
Tabel 4.4 Hasil Uji Bending Material Komposit Variasi C..	52
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan ROM Material Komposit Variasi A.....	54
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan ROM Material Komposit Variasi B.....	55
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan ROM Material Komposit Variasi C.....	55

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan <i>Density</i> Teoritis Komposit Polyester-HGM.....	57
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan <i>Density</i> Eksperimen Material Komposit Variasi A.....	58
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan <i>Density</i> Eksperimen Material Komposit Variasi B.....	59
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan <i>Density</i> Eksperimen Material Komposit Variasi C.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan komposit dengan logam lain.....	7
Gambar 2.2 Komposit berpenguat serat.....	11
Gambar 2.3 Komposit berpenguat lamina.....	12
Gambar 2.4 Komposit berpenguat partikel.....	12
Gambar 2.5 Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya	13
Gambar 2.6 Ikatan atom pada polimer.....	15
Gambar 2.7 <i>Hollow glass microsphere</i>	17
Gambar 2.8 Proses <i>hand lay up</i>	21
Gambar 2.9 Tipe rantai polimer	24
Gambar 2.10 Data <i>Tg</i> dari <i>polyester</i>	27
Gambar 2.11 Pembebanan pada <i>three point</i> bending.....	28
Gambar 2.12 Mekanisme kegagalan pada spesimen bending.....	22
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Skema Diagram Alir Perhitungan	30
Gambar 3.3 Resin Polyester.....	36
Gambar 3.4 <i>Hollow Glass Microspheres</i>	36
Gambar 3.5 Katalis MEKPO	37
Gambar 3.6 <i>Wax Mirror Glaze</i>	37
Gambar 3.7 Cetakan Loyang	38
Gambar 3.8 <i>Furnace</i>	39
Gambar 3.9 Mesin Uji Bending Shimadzu	39
Gambar 3.10 <i>Scanning Electron Microscop</i> Hitachi TM 3000.....	40
Gambar 3.11 Timbangan Digital	41
Gambar 3.12 Spesimen Uji Bending.....	44
Gambar 3.13 Sketsa Pengujian Bending.....	45
Gambar 4.1 Grafik <i>Density</i> Komposit Secara Teori dan Eksperimen.....	61
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Bending VS Prosentase HGM	63

Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Variasi A	66
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Variasi B.....	67
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Variasi C.....	68
Gambar 4.6 Foto Patahan Komposit Variasi A.....	70
Gambar 4.7 Foto Permukaan Patahan Komposit Variasi A.....	70
Gambar 4.8 Foto Patahan Komposit Variasi B.....	71
Gambar 4.9 Foto Permukaan Patahan Komposit Variasi B.....	71
Gambar 4.10 Foto Patahan Komposit Variasi C.....	72
Gambar 4.11 Foto Permukaan Patahan Komposit Variasi C.....	72
Gambar 4.12 Foto SEM Komposit 10% HGM Variasi A Perbesaran 600x.....	75
Gambar 4.13 Foto SEM Komposit 10% HGM Variasi A Perbesaran 1000x.....	76
Gambar 4.14 Foto SEM Komposit 10% HGM Variasi C Perbesaran 600x.....	77
Gambar 4.15 Foto SEM Komposit 10% HGM Variasi C Perbesaran 1000x.....	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi di bidang material, mendorong material komposit untuk dapat digunakan dalam aplikasi produk baik di dalam bidang otomotif dan dirgantara maupun dalam bidang militer. Keunggulan dari material komposit ini adalah *strength to weight ratio* yang tinggi, kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi dibandingkan dengan logam.

Sifat komposit diperoleh dari penggabungan matriks utama dengan *reinforcement* melalui proses pembuatan yang bervariasi. Beberapa keuntungan dapat diperoleh dari material komposit tersebut, tergantung dari sifat matriks utama dan juga *reinforcement*nya. Adapun kekurangan dari jenis material ini adalah desain yang kompleks, biaya tinggi, karakteristik terhadap temperatur relatif kurang baik. Salah satu pengembangan material komposit adalah dengan penambahan *hollow glass microspheres* (HGM) sebagai *reinforcement*. Material ini diproduksi dengan cara mencampur resin dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan kekuatan materialnya. HGM berbentuk *spherical* dan terdiri dari permukaan kaca yang kaku serta mengandung *inert* gas di dalamnya sehingga memiliki sifat mekanik seperti massa jenis yang rendah (0.3 – 0.6 gr/cc), kekuatan tekan tinggi (3000 – 30,000 psi) serta titik leleh yang tinggi (600 °C) dan konduktivitas *thermal* yang rendah[1].

Tahun 2014, I Dewa Gde Budhita[2] melakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *curing* 27 °C, temperatur *post-curing* 90 °C, dan temperatur *curing* 90°C dengan variasi penambahan volume HGM 15% hingga 20% terhadap karakteristik bending komposit dengan matriks epoxy. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan pengaruh penambahan HGM dan sifat mekanik dari komposit terhadap

temperatur *curing* dan temperatur *post-curing*. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil yang terbaik pada fraksi volume HGM sebesar 16% dan perlakuan *curing* 90 °C selama 24 jam. Pada tahun yang sama, Widiensyah Ritonga[3] melakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *curing* 27 °C, temperatur *post-curing* 90 °C, dan temperatur *curing* 90 °C dengan variasi penambahan volume HGM 15% hingga 20% terhadap karakteristik tekan komposit dengan matriks epoxy. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan pengaruh penambahan HGM dan sifat mekanik dari komposit terhadap temperatur *curing* dan temperatur *post-curing*. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil yang terbaik pada fraksi volume HGM sebesar 16% dan perlakuan *curing* 90 °C selama 24 jam. Pada tahun 2016, Bustan Zhafray[4] melakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *curing* 27 °C, temperatur *post-curing* 90 °C, dan temperatur *curing* 90 °C dengan variasi penambahan volume HGM 15% hingga 20% terhadap karakteristik tarik komposit dengan matriks epoxy. Penelitian tersebut juga dilakukan untuk mendapatkan pengaruh penambahan HGM dan sifat mekanik dari komposit terhadap temperatur *curing* dan temperatur *post-curing*. Pada penelitian tersebut juga didapatkan hasil yang terbaik pada fraksi volume HGM sebesar 16% dan dengan dilakukan *curing* 90 °C selama 24 jam.

Penelitian-penelitian mengenai *particulate composite* tersebut dilakukan untuk dapat mengetahui hasil yang optimum dari penambahan volume HGM terhadap matriks epoxy bila dilakukan variasi pada temperatur pengujiannya. Lalu atas dasar hal tersebut lalu dilakukan lagi penelitian lebih lanjut oleh Zahrah Lutfianisa[5] pada tahun 2015 mengenai analisa kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari komposit HGM dengan matriks epoxy dalam menyerap energi akibat *impact* proyektil. Penelitian tersebut dilakukan untuk menentukan ketebalan rompi anti peluru agar proyektil tidak menembus rompi anti peluru dengan menggunakan volume

HGM yang paling optimum berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan yaitu sebesar 16% HGM. Karena dirasa *particulate composite* saja masih kurang kuat untuk menahan peluru yang ditembakkan ke rompi, maka pada tahun 2016 Fadli Adiputra[6] melakukan penelitian mengenai *hybrid composite* yang mana dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah *layer fiberglass* dengan fraksi volume HGM sebesar 16% dengan matriks epoxy terhadap karakteristik tarik *hybrid composite* tersebut. Hasil yang didapatkan adalah tegangan tensile tertinggi pada material dengan 12 *layer fiberglass* yang dilakukan *curing* pada temperatur 90 °C selama 24 jam. Dan pada tahun yang sama, Syahrafi Widyanpratama[7] melakukan penelitian mengenai *hybrid composite* dengan matriks epoxy dan fraksi volume HGM sebesar 16%, dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah *layer fiberglass* terhadap karakteristik bendingnya. Hasil yang didapatkan adalah tegangan bending tertinggi pada material dengan 10 *layer fiberglass* yang dilakukan *curing* pada temperatur 90 °C selama 24 jam.

Fadli dan Syahrafi juga melakukan pengujian tembak pada material uji yang mereka buat, hal ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah material *hybrid composite* mereka cukup tangguh untuk menerima energi yang dihasilkan oleh peluru hasil tembakan. Hasil yang didapat adalah material *hybrid composite* yang mereka buat mampu menahan peluru kosong (*hollow bullets*) namun tidak cukup tangguh untuk menahan peluru yang tajam (*solid bullets*) sehingga material mereka tertembus peluru tajam, hal ini dikarenakan matriks epoxy yang mereka gunakan tidak cukup tangguh maka dari itu harus dilakukan penelitian lebih lanjut agar menemukan material komposit yang seperti apa yang optimum untuk digunakan sebagai bahan dasar dari rompi anti peluru.

Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini akan dibahas pengaruh dari variasi temperatur *curing* pada temperatur 27 °C, *curing* pada temperatur 27 °C lalu *post-curing* 90 °C selama 5

jam, dan *curing* pada temperatur 90 °C selama 5 jam, serta penambahan fraksi volume HGM sebesar 10% hingga 17% terhadap karakteristik bending komposit dengan matriks polyester. Sehingga nantinya penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam bidang otomotif dan dirgantara maupun dalam bidang militer, serta sumbangan data bagi ilmu pengetahuan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* (HGM) terhadap karakteristik bending komposit dengan matriks polyester.
2. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* terhadap karakteristik bending komposit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* (HGM) terhadap karakteristik bending komposit dengan matriks polyester.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* terhadap karakteristik bending komposit.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Temperatur pada saat membuat campuran komposit dan saat pengujian konstan yaitu 27°C.
2. Distribusi *hollow glass microspheres* (HGM) di dalam matriks dianggap sama.
3. Spesimen yang dihasilkan dari pencetakan dianggap dalam kondisi baik.

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai komposit, mekanika struktur komposit, karakteristik *polyester* dan *hollow glass microsphere* (HGM), konsep proses *curing* dan *post – curing*, serta metode produksi *hand lay up* dan konsep pengujian bending.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir , metode pembuatan, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini .

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dilanjutkan analisis data dan diskusi menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian. Bentuk patahan dan analisis kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro dan foto SEM.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran dijelaskan hasil penelitian dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

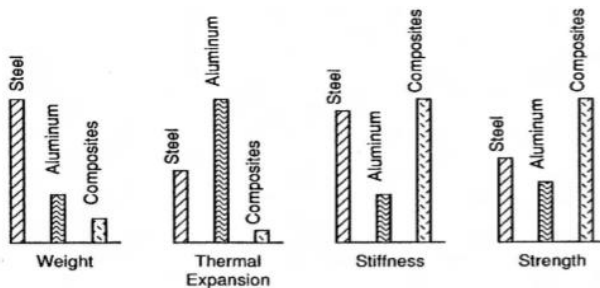
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2. 1. Tinjauan Pustaka

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun dan dikombinasikan dalam skala makroskopis. Dimana satu material adalah berfungsi sebagai fase pengisi (*matrix*) sedangkan material lainnya sebagai fase penguat (*reinforce*). Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya.

Dengan semakin berkembangnya teknologi komposit, maka memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan, kaku, dan lebih tahan panas. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.1. Perbandingan komposit dengan logam lain[8]

Gambar 2.1. menunjukkan material seperti baja dan aluminium dengan komposit. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa berat komposit jauh lebih ringan daripada kedua material tersebut. Begitu pula perbandingan *thermal*

expansion dari komposit yang rendah sehingga baik digunakan pada media kerja bertemperatur tinggi. Selain itu, kekuatan dan kekakuan komposit lebih tinggi daripada aluminium dan baja.

Komposit yang diisi dengan *filler* banyak dikembangkan karena aplikasinya yang luas dan harga yang relatif murah. Penggunaan *filler* merupakan metode yang cepat dan murah untuk memodifikasi sifat mekanik. Secara umum *filler* digunakan untuk meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan modulus elastisitasnya, tetapi juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kekakuan (*stiffness*) dan modifikasi terhadap nilai kekuatan (*strength*), ketangguhan (*toughness*), stabilitas dan konduktivitas panas dan listrik.

Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh R. J. Cardoso dan A. Shukla[9] mengenai komposit partikel *polyester* – HGM menunjukkan bahwa modulus elastisitas komposit akan meningkat dengan penambahan HGM sebesar 25% dibandingkan dengan polyester murni. Rata-rata ukuran diameter butir HGM juga ikut berpengaruh, modulus elastisitas akan meningkat seiring dengan penurunan rata-rata ukuran butir HGM pada volume fraksi yang sama. Hal ini disebabkan pada ukuran diameter butir yang lebih besar maka rongga di dalam HGM juga semakin besar ukurannya dibandingkan ukuran diameter butir yang lebih kecil sehingga tidak mampu menahan gaya yang lebih besar.

Tabel 2.1 Hasil modulus elastisitas dan *poisson ratio* pada komposit *polyester* - 25% *hollow glass microspheres*[10]

Particulate size range (μm)	E (GPa)	Poisson's ratio ν
Polyester	3.98	0.35
300–180	4.16 \pm 0.10	0.29 \pm 0.01
150–105	4.31 \pm 0.03	0.30 \pm 0.01
105–10	4.33 \pm 0.02	0.30 \pm 0.01
75–10	4.45 \pm 0.08	0.29 \pm 0.01

Studi terdahulu juga pernah dilakukan oleh J. S. Huang dan L. J. Gibson[11] pada tahun 1992 mengenai pengaruh penambahan kadar HGM dari 0 – 35% dan matriks resin polyester menunjukkan hasil modulus elastisitas semakin menurun drastis apabila volume penambahan HGM lebih dari 8 %. Penambahan HGM juga memperlihatkan densitas dari paduan yang semakin menurun yang artinya menunjukkan komposit semakin ringan.

Specimen number	V_{sphere} (%)	V_{matrix} (%)	V_{void} (%)	$\rho_{\text{calculated}}$ (Mg m^{-3})	ρ_{measured} (Mg m^{-3})
D1	0.00	100.00	0.00	1.24	1.24
D2	2.41	97.21	0.38	1.21	1.22
D3	5.17	92.79	2.04	1.16	1.15
D4	8.31	89.48	2.21	1.12	1.11
D5	9.41	88.53	2.06	1.11	1.07
D6	17.54	77.66	4.80	0.98	1.01
D7	17.19	74.07	8.74	0.94	0.97
D8	18.45	71.19	10.36	0.91	0.94
D9	24.51	65.62	9.87	0.84	0.88
D10	27.17	59.61	13.22	0.77	0.78
D11	30.20	56.20	13.60	0.73	0.75
D12	35.33	46.97	17.70	0.63	0.65

Tabel 2.2 Hasil pengukuran densitas pada komposit *polyester - hollow glass microspheres*[11]

2.2 Komposit

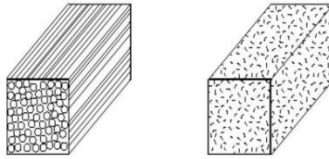
Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari gabungan antara 2 atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda-beda. Komposit memiliki sifat-sifat mekanik seperti kekuatan dan kekakuan yang tinggi, memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik, dan juga mudah dibentuk. Dengan kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan usaha bangunan.

Material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari komposit yang berfungsi sebagai pengikat penguat yang satu dengan yang lain serta mendistribusikan dengan baik beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit dan memiliki sifat lebih kuat dari matriks serta sebagai tempat melekatnya matriks[12].

2.2.1 Penguat

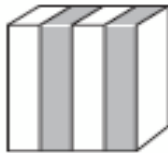
Penguat (*reinforce*) dalam komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat dan memiliki sifat lebih kuat dari matriksnya, serta merupakan suatu konstruksi / rangka tempat melekatnya matriks. Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi:

1. Komposit berpenguat serat (*fibricus composite*) yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat. Sebagai contoh adalah *fiber reinforced plastic*, plastik diperkuat dengan serat. Misal: *fiberglass*.



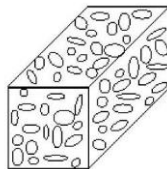
Gambar 2.2 Komposit berpenguat serat[13]

2. Komposit berpenguat lapisan (*laminated composite*) yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya adalah *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.



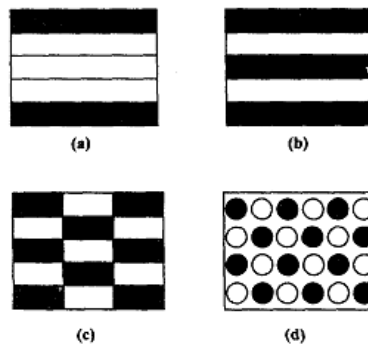
Gambar 2.3 Komposit berpenguat lamina[13]

3. Komposit berpenguat partikel (*particulate composite*) yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton.



Gambar 2.4 Komposit berpenguat partikel[13]

4. Komposit hibrida (*hybrid composite*) merupakan jenis komposit yang penguatnya terdiri atas lebih dari satu jenis penguat di dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil (serat) ataupun skala besar (*layer*). Tujuan dari hibridasi itu sendiri adalah untuk menyusun suatu material baru yang mengandung keunggulan dari material penyusunnya.



Gambar 2.5 Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya: (a) *Sandwich*, (b) *Interply*, (c) *Intraply*, (d) *Intimately Mixed*[13]

2.2.2 Matriks

Matriks dalam komposit didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer
Contoh: termoplastik, thermosetting

2. *Metal Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks logam
Contoh: aluminium, magnesium, titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks keramik.
Contoh: alumina, *aluminium titanate*, *silicon carbide*

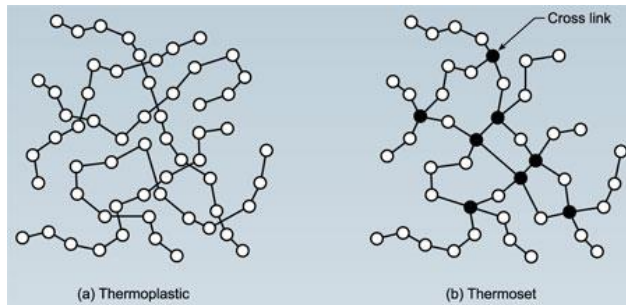
Komposit berbahan matriks logam umumnya sering digunakan dalam bidang kedirgantaraan dan komponen-komponen otomotif. Komposit berbahan matriks keramik digunakan untuk keperluan perlindungan panas seperti pada pesawat luar angkasa. Komposit berbahan matriks polimer jauh lebih populer karena dapat digunakan pada berbagai aplikasi seperti peralatan rumah tangga hingga ke peralatan elektronik.

2.3 Polymer Matrix Composite (PMC)

Polimer berasal dari kata *poly* yang berarti banyak dan *mer* (*meros*) yang berarti bagian, jadi polimer dapat didefinisikan sebagai suatu material yang molekulnya dibentuk dari beberapa bagian (monomer). Umumnya polimer terbentuk dari hidrokarbon dimana atom karbon (C) sebagai tulang punggung dalam rantai ikatan kimianya. Dalam aplikasi komposit, polimer sebagai matriks banyak disebut orang sebagai resin.

Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Thermoplastik:
Polimer yang dapat dibentuk kembali melalui proses pemanasan, contoh: *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polyethylene* (PE).
2. Thermosetting:
Polimer yang tak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan seperti *thermoplastic*, contoh: *Polyester*, *Phenolic* (PF).



Gambar 2.6 Ikatan atom pada polimer[12]

3. Elastomer:

Merupakan jenis polimer yang dapat kembali ke bentuk asal setelah tegangan yang diberikan dihilangkan, contoh: karet.

2.3.1 Resin *Unsaturated Polyester*

Resin *unsaturated polyester* merupakan jenis *thermoset*. Kebanyakan orang menyebutnya dengan *polyester*. Resin ini mempunyai viskositas yang relatif rendah, dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis.

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mempunyai suhu deformasi thermal yang lebih rendah dibandingkan dengan resin *thermoset* lainnya dan mampu menahan panas kira-kira 110-140°C dalam waktu yang cukup lama. Mempunyai sifat ketahanan listrik yang baik. Mampu menahan asam dengan cukup baik, namun lemah terhadap alkali. Secara luas digunakan dalam dunia material sebagai bahan komposit.

Resin jenis ini terbentuk melalui proses reaksi kondensasi antara *unsaturated diacid* dan *diols* atau *saturated dicarboxylic acid* dan *unsaturated diols*. Umumnya proses kondensasi dilakukan pada *range* temperatur 190° - 220 °C hingga mencapai viskositas yang diinginkan. Setelah itu sejumlah *vinyl monomer* ditambahkan untuk mendapatkan cairan

yang lengket dan tebal. Larutan ini lah yang disebut dengan resin *unsaturated polyester*[13].

Sedangkan jenis *saturated polyester* terbentuk melalui proses reaksi kondensasi antara asam seperti *isophtalic acid*, *phthalic anhydride*, dan sebagainya. Selama proses reaksi, terdapat air yang dihasilkan yang mana merupakan hasil dari proses pembentukan resin. Setelah mencapai parameter yang diinginkan, resin didinginkan dan dimasukkan kedalam mesin pencampur yang didalamnya terdapat larutan C-9 dan *butyl cellosolve*[14].

Penggunaan resin jenis *unsaturated polyester* dapat dilakukan dari mulai proses yang paling sederhana yaitu proses *hand lay-up* hingga dengan metode manufaktur yang kompleks. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri karena beberapa keunggulannya, yaitu harganya yang relatif murah, waktu *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penanganannya.

Jenis resin *polyester* yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah jenis BQTN 157, contoh aplikasinya adalah pada bagian-bagian bodi dari kendaraan bermotor, terutama pada mobil. Spesifikasi dari resin BQTN 157 dapat dilihat pada tabel 2.3.

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat jenis	-	1,215	25°C
Kekerasan	-	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruang	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9,4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya rentang	Kg/mm ²	5,5	-
Modulus rentang	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2,1	-

Tabel 2.3 Spesifikasi *unsaturated polyester* resin seri yukalac 157 BQTN-EX[15]

2.4 *Hollow Glass Microsphere (HGM)*

Sejak pertengahan tahun 1960-an, *Hollow Glass Microsphere (HGM)* banyak digunakan sebagai *filler* untuk berbagai jenis senyawa polimer. HGM merupakan kaca berdinding tipis yang berongga dan terbuat dari kaca yang mengandung *sodium borosilicate*.



Gambar 2.7 *Hollow glass microsphere*[14]

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan *microsphere* kaca seperti pada gambar 2.7 dengan kekuatan *isostatic* (penggunaan tekanan kekuatan proporsi yang sama dari segala arah) yang mencapai 10.000 psi, lebih dari dua kali kekuatan sebelumnya yang tersedia. Pada jenis HGM iM30K, ini adalah jenis HGM yang memiliki rasio *strength-to-density* tertinggi dari jenis-jenis HGM di pasaran. *Hollow glass microsphere* ini juga dapat meningkatkan *yield strength*, *compressive strength*, *life cycle*, serta modulus elastisitas.

HGM merupakan jenis glass berbentuk *hollow*[1] berdimensi 5 - 50 μ m. Menurut ASTM D 1238, HGM dapat menerima temperatur antara *range* 30°C – 220°C, serta laju pemanasan yang diterima oleh HGM sebesar 10°C/menit. HGM juga dapat menurunkan konduktivitas termal dan juga densitas. Penambahan HGM tersebut terdapat batasan pemakaian sampai dengan 51,3% dari fraksi berat matriks. Hal ini dikarenakan dapat menurunkan dielektrik konstan dan dielektrik buang dari material komposit. Untuk *filler* dipergunakan *hollow glass*

microsphere (HGM) jenis iM30K dengan data teknis sebagai berikut:

Tabel 2.4 Data spesifikasi teknis *hollow glass microspheres* jenis iM30K[16]

Material Description

Property	iM30k
Shape	Hollow spheres with thin walls
Composition	Soda-lime-borosilicate glass
Color, Unaided Eye	White, powder

Physical Properties

Property	iM30k	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28,000	3M QCM 14.1.8
True Density (g/cc)	0,60	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33,5	ASTM D282-84 of polymer additive
Softening point (°C)	600	
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM 55.19/gram max

pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

<i>Properties</i>	iM30K filler
<i>Isostatic crush</i>	193.05 Mpa
<i>Density</i>	600 kg/m ³
<i>Softening Point</i>	600 °C
<i>Diameter (average)</i>	18 microns

2.5 Aditif

Penggunaan polimer dalam komposit memerlukan material lain yang mempunyai fungsi khusus yang disebut aditif. Material tambahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

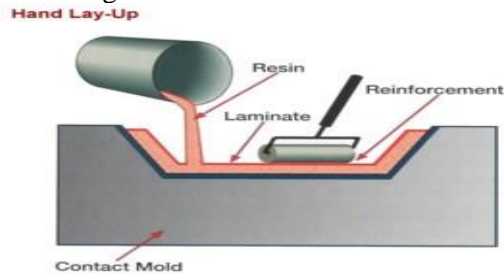
1. *Catalyst, stabilizer, coupling agent* merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk mempercepat, menstabilkan, dan membantu perekatan polimer dengan fasa penguat komposit.
2. *Pigments* digunakan untuk memberi tekstur dan warna pada polimer.
3. *Release agents, lubricants*, merupakan material yang ditambahkan untuk mempermudah dalam melepaskan komposit dari cetakannya dalam proses produksi komposit.

2.6 Metode Manufaktur *Hand Lay Up*

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan hasil proses pencampuran antara resin dan *hollow glass microsphere* dituang diatas sebuah cetakan.

Langkah ini dilakukan hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu curing pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu curing bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8 Proses *hand lay up*[17]

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Murah biaya
2. Prosesnya sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

1. Biasanya dipakai untuk *prototype* dengan skala besar
2. Karena proses *curing* terbuka maka (pada temperatur kamar) maka bau yang ditimbulkan perlu dipikirkan.
3. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten
4. Prosesnya tidak bersih.

2.7 Perhitungan Komposit

2.7.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan volume fraksi atau berat fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

Fraksi volume total :

$$V_h + V_m = 1 \quad (1)$$

Fraksi volume matriks :

$$V_m = V_m / V_c \quad (2)$$

Fraksi volume penguat :

$$V_h = V_h / V_c \quad (3)$$

Fraksi berat total :

$$W_h + W_m = 1 \quad (4)$$

Fraksi volume penguat :

$$V_h = V_h / V_c \quad (5)$$

Fraksi berat matriks :

$$W_m = W_m / W_c \quad (6)$$

Fraksi berat penguat :

$$W_h = W_f / W_c \quad (7)$$

Dari persamaan tersebut, didapatkan:

$$V_c = V_m + V_h \quad (8)$$

Dimana: m = matriks
 h = *hollow glass microspheres*

c	= komposit
V	= Volume fraksi
W	= berat fraksi
v	= volume (m ³)
w	= berat (kg)

2.7.2 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas fraksi volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan fraksi berat. Hal ini karena dengan menggunakan fraksi berat lebih memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari fraksi volume terhadap fraksi berat dan sebaliknya:

$$\text{Massa h} = \rho_h V_h \quad (9)$$

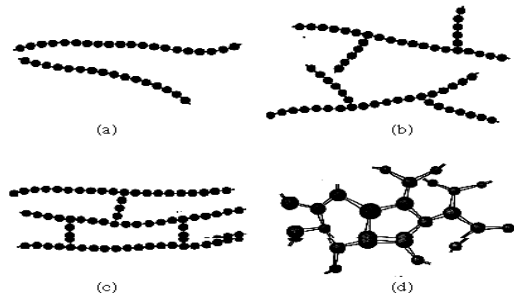
$$\text{Massa m} = \rho_m V_m \quad (10)$$

Dimana:	V _h	= fraksi volume penguat
	V _m	= fraksi volume matriks
	W _h	= berat penguat
	W _m	= berat matriks

2.8 Proses Curing

Inti dari mekanisme *curing* material *thermoset* adalah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat dituang ke atas cetakan. *Curing* dapat terjadi pada temperatur tinggi dan pada proses *hand lay up* terjadi pada temperatur ruang. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar[16]. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan. Karena memiliki ikatan *crosslink* sehingga material ini tidak dapat dilelehkan kembali. Agar *curing* dapat terjadi maka resin harus ditambahkan dengan *katalis (hardener)*.

Proses *curing* juga dapat dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji pada temperatur tertentu namun tidak boleh melebihi *glass transition temperature* nya karena akan menyebabkan material mengalami penurunan modulus elastisitasnya sehingga material akan lebih kaku.



Gambar 2.9 Tipe rantai polimer (a) *Linear*, (b) *Branched*, (c) *Cross-Linked*, (d) *Network* [18]

Dengan meningkatnya temperatur, aktivitas molekul dan polimerisasi juga meningkat. Sehingga akan meningkatkan derajat kristalinitasnya. Meningkatnya derajat kristalinitas menyebabkan fase *rubber* akan berubah menjadi fase *glass* yang lebih kuat dan rapuh.

2.9 Proses *Post-Curing*

Tujuan dilakukan proses *post-curing* adalah untuk memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan material pada temperatur tertentu, tetapi tidak boleh melebihi *glass transition temperature* seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Pada saat dilakukan *post-curing*, molekul-molekul material pada kondisi ini menerima lebih banyak energi dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Molekul-molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink*. Hal ini menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material tersebut di dinginkan maka mobilitas dari

molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Fenomena ini menyebabkan material mengalami peningkatan kekuatan dan kekakuan.

2.10 *Rule Of Mixture*

Rule of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tarik karena pada saat pengujian tarik spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_r \cdot V_r \quad (11)$$

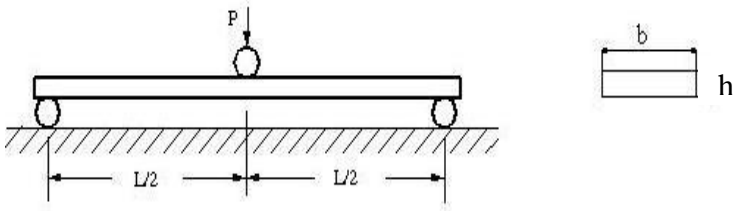
Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dan bahan pengikat (*matrix*). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *matrix* sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunnya.

Penyusun komposit berupa *matrix*, *reinforcement*, dan juga *void*. Dengan adanya ketiga penyusun tersebut dengan kekuatan masing-masing penyusun maka bisa diprediksi secara teoritis sesuai ROM kekuatan pada kompositnya.

2.11 *Pengujian Spesimen Dengan Three Point Bending*

Merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material untuk mengetahui karakteristik mekanik dari material tersebut. Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural stiffness*) komposit. Pengujian ini dilakukan dengan cara batang spesimen disangga di kedua sisi dan di berikan beban diantara 2 penyangga tersebut sampai spesiment tersebut rusak / patah.

Idealnya spesimen uji akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen mengalami beban tarik. Pengujian berdasarkan standar ASTM D 790M.



Gambar 2.11 Pembebanan pada uji *three point bending* [20]

Pada pengujian bending dengan metode three point bending digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM D790M, yaitu :

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (12)$$

Dimana :

- S = Tegangan bending (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang Span (mm)
- b = Lebar (mm)
- h = Tebal (mm)

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending dapat digunakan persamaan:

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (13)$$

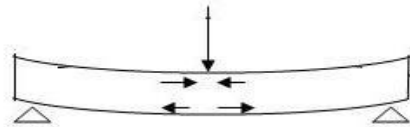
$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (14)$$

Sehingga,

$$E = \frac{PL^3}{48I\delta_{max}} \quad (15)$$

Dimana :

E	= Modulus elastisitas banding (MPa)
L	= Panjang Span (mm)
δ_{max}	= Defleksi maksimum (mm)
h	= Tebal (mm)
b	= lebar (mm)



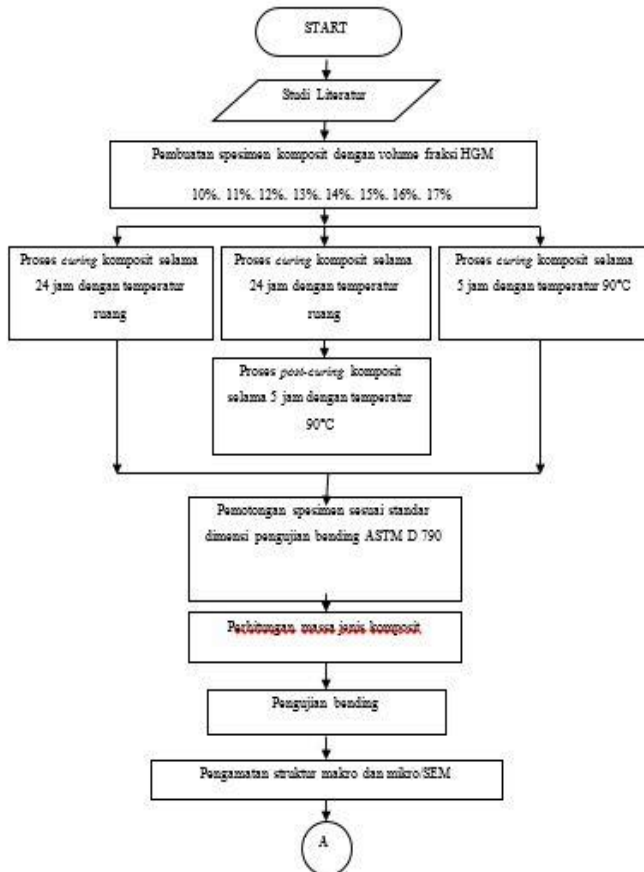
Gambar.2.12 Mekanisme kegagalan spesimen bending [21]

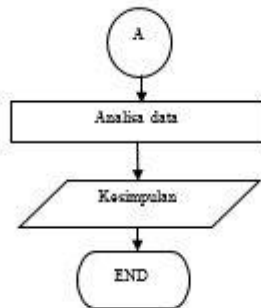
Pada spesimen bending, umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposit mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin, pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit diberi beban. Dengan beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlamina menyebabkan delaminasi pada komposit tersebut, sehingga mengakibatkan kegagalan pada spesimen bending.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



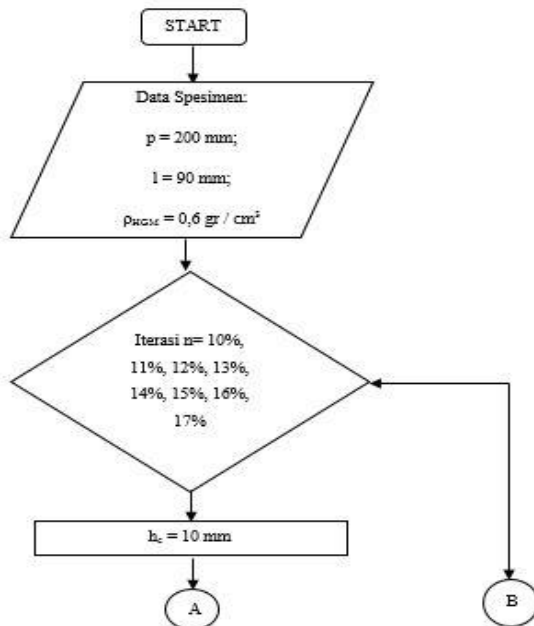


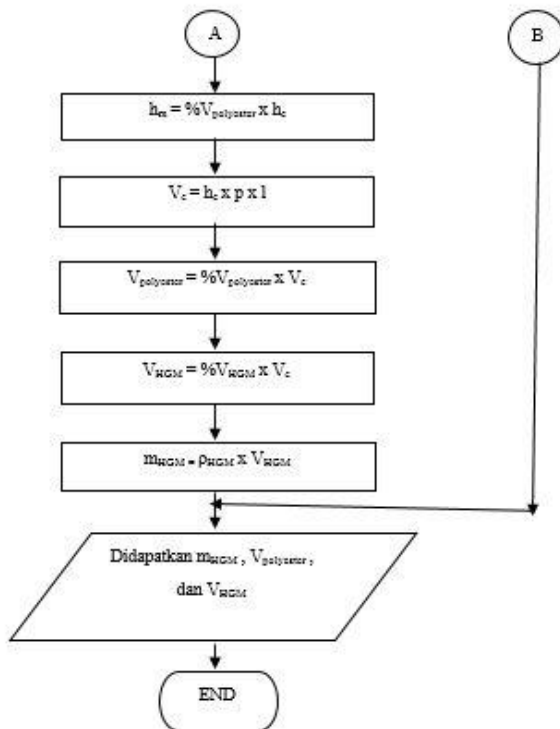
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

3.2 Persiapan Spesimen

3.2.1 Diagram Alir Perhitungan

Diagram alir dari perhitungan ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.2 Skema Diagram Alir Perhitungan

3.2.2 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan pada pembuatan material komposit untuk menghitung volume *hollow glass microspheres* dan volume polyester:

- Data Spesimen:
p = 200 mm

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{hgm}} = 0,6 \text{ gr/cm}^3$$

Contoh = Prosentase HGM 10%

- Menghitung tebal spesimen komposit:

$$h_c = 10 \text{ mm}$$

- Menghitung tebal resin (h_m):

$$h_m = \%V_{\text{polyester}} \times h_c = 90\% \times 10 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$$

- Menghitung volume komposit (V_C):

$$V_C = h_c \times p \times l = 10 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} \\ = 180000 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume polyester ($V_{\text{polyester}}$):

$$V_{\text{polyester}} = \%V_{\text{polyester}} \times V_C \\ = 90\% \times 180000 \text{ mm}^3 \\ = 162000 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume HGM (V_{HGM}):

$$V_{\text{HGM}} = \%V_{\text{HGM}} \times V_C = 10\% \times 180000 \text{ mm}^3 \\ = 18000 \text{ mm}^3$$

- Menghitung massa HGM (m_{HGM}):

$$m_{\text{HGM}} = \rho_{\text{HGM}} \times V_{\text{HGM}} = 0,6 \times \frac{18000}{1000} = 10.8 \text{ gr}$$

3.2.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada pembuatan material komposit antara campuran antara resin polyester dengan *hollow glass microspheres* (HGM) adalah variasi fraksi volume HGM dengan resin polyester dan temperatur *curing* serta temperatur *post-curing*.

Tabel 3.1 Variasi Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres* dan Polyester untuk *Curing* Temperatur 27 °C Selama 24 Jam

Kode Spesimen	Fraksi Vol HGM	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Vol Total (cm ³)	Vol Polyester Total (cm ³)	Vol HGM (cm ³)	Massa HGM (gr)
A10	10%	20	9	1	180	162	18	10,8
A11	11%	20	9	1	180	160,2	19,8	11,88
A12	12%	20	9	1	180	158,4	21,6	12,96
A13	13%	20	9	1	180	156,6	23,4	14,04
A14	14%	20	9	1	180	154,8	25,2	15,12
A15	15%	20	9	1	180	153	27	16,2
A16	16%	20	9	1	180	151,2	28,8	17,28
A17	17%	20	9	1	180	149,4	30,6	18,36

Kode A = spesimen *curing* temperatur 27 °C selama 24 jam

Tabel 3.2 Variasi Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres* dan Polyester untuk *Curing* Temperatur 27 °C Selama 24 Jam dan *Post-Curing* 90 °C Selama 5 Jam

Kode Spesimen	Fraksi Vol HGM	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Vol Total (cm ³)	Vol Polyester Total (cm ³)	Vol HGM (cm ³)	Massa HGM (gr)
B10	10%	20	9	1	180	162	18	10,8
B11	11%	20	9	1	180	160,2	19,8	11,88
B12	12%	20	9	1	180	158,4	21,6	12,96
B13	13%	20	9	1	180	156,6	23,4	14,04
B14	14%	20	9	1	180	154,8	25,2	15,12
B15	15%	20	9	1	180	153	27	16,2
B16	16%	20	9	1	180	151,2	28,8	17,28
B17	17%	20	9	1	180	149,4	30,6	18,36

Kode B = spesimen *curing* temperatur 27 °C selama 24 jam dan *post-curing* 90°C selama 5 jam

Tabel 3.3 Variasi Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres* dan Polyester untuk *Curing* Temperatur 90 °C Selama 5 Jam

Kode Spesimen	Fraksi Vol HGM	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Vol Total (cm ³)	Vol Polyester Total (cm ³)	Vol HGM (cm ³)	Massa HGM (gr)
C10	10%	20	9	1	180	162	18	10,8
C11	11%	20	9	1	180	160,2	19,8	11,88
C12	12%	20	9	1	180	158,4	21,6	12,96
C13	13%	20	9	1	180	156,6	23,4	14,04
C14	14%	20	9	1	180	154,8	25,2	15,12
C15	15%	20	9	1	180	153	27	16,2
C16	16%	20	9	1	180	151,2	28,8	17,28
C17	17%	20	9	1	180	149,4	30,6	18,36

Kode C = spesimen *curing* temperatur 90 °C selama 5 jam

3.3 Material

Pada penelitian ini material komposit dibuat menggunakan resin polyester dicampur dengan *hollow glass microsphere* (HGM) sebagai *reinforcement* dengan variasi fraksi volume 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17%. Dibuat dengan menggunakan metode sederhana yaitu metode *hand lay up* dan diberikan perlakuan yang berbeda pada setiap variasi kode yang berbeda pula. Berikut bahan-bahan yang digunakan untuk membuat material komposit ini:

1. Resin polyester Yukalac 157 BTQN-EX

Resin yang digunakan pada penelitian ini adalah resin polyester 157. Yang harus dicampurkan dengan katalis agar bisa terjadi proses solidifikasi.



Gambar 3.3 Resin polyester

2. *Hollow Glass Microspheres*

Hollow glass microspheres (HGM) yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis HGM yang diproduksi oleh perusahaan 3M dengan tipe iM30K. HGM jenis ini memiliki massa jenis 0.6gr/cm^3 .



Gambar 3.4 *Hollow glass microspheres*

3. Katalis

Katalis disini digunakan untuk membantu terjadinya proses solidifikasi. Pada proses pembuatan material komposit yang menggunakan resin polyester.



Gambar 3.5 Katalis MEKPO

4. Wax

Wax digunakan agar material komposit mudah dilepas dari cetakan. Wax yang digunakan adalah merk *mirror glaze*.



Gambar 3.6 Wax *mirror glaze*

3.4 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cetakan Komposit

Dalam proses pembuatan spesimen komposit untuk penelitian ini saya menggunakan 2 (dua) tipe

cetakan yang berbeda. Yang pertama saya menggunakan cetakan dari loyang dan yang kedua saya menggunakan cetakan kaca.



Gambar 3.7 Cetakan Loyang

2. *Furnace*

Furnace ini digunakan untuk proses *curing* dan *post-curing* pada temperatur 90°C . *Furnace* yang saya gunakan adalah milik Laboratorium Teknik Cor Jurusan Teknik Mesin ITS.



Gambar 3.8 *Furnace*

3. Mesin Uji Bending

Mesin uji bending yang digunakan adalah mesin uji Shimadzu AG-X milik Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil ITS.



Gambar 3.9 Mesin uji bending Shimadzu

4. *Scanning Electron Microscop* Carl Zeiss EVO MA 10

Alat ini digunakan untuk melihat persebaran HGM pada spesimen. Alat yang digunakan adalah milik Laboratorium Biologi Universitas Brawijaya.



Gambar 3.10 *Scanning Electron Microscop* Hitachi TM 3000

5. Alat bantu: kapi, gerinda tangan, gelas plastik
6. Alat keselamatan: masker, sarung tangan
7. Alat ukur: timbangan digital, jangka sorong, penggaris, gelas ukur kaca



Gambar 3.11 Timbangan Digital

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Proses Pembuatan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks polyester 157 dengan penguat *hollow glass microsphere* jenis iM30K. Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Cetakan yang terbuat dari loyang dan kaca dibersihkan dan dilapisi dengan wax secara merata. Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan setelah material jadi.
2. *Polyester* resin dicampur dengan *hollow glass microsphere* (HGM) sesuai dengan perbandingan variasi volume. Kemudian campuran *polyester* dengan HGM diaduk selama kurang lebih 15

menit sampai sudah tidak ada *void* didalam campuran, setelah itu ditambahkan *hardener* dan diaduk kembali sampai *hardener* tercampur sempurna dengan campuran *polyester* dan HGM. Penambahan *hardener* bertujuan agar resin dapat mengeras.

3. Campuran dituang ke dalam cetakan.
4. Sisi dari cetakan yang terbuat dari kaca ditutup dengan bingkai yang terbuat dari plastisin dengan dimensi 200x90x10 mm. Hal ini bertujuan agar cetakan tidak berubah bentuk dan tidak terjadi kebocoran.
5. Variasi kode A yang menggunakan temperatur 27°C dibiarkan selama 24 jam di dalam cetakan untuk menjalani proses *curing*. Variasi kode B dilakukan proses *post-curing* selama 5 jam didalam *furnace* yang menggunakan temperatur 90°C setelah melewati proses *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam. Lalu untuk variasi kode C dilakukan proses *curing* selama 5 jam didalam *furnace* dengan temperatur 90°C.
6. Material komposit dilepas dari cetakan.
7. Pengamatan komposit hasil cetakan.
8. Setelah komposit berhasil dicetak dengan baik, dilanjutkan dengan pembuatan spesimen uji bending.

3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit

Setelah proses *curing*, komposit diamati apakah terdapat cacat pada komposit. Apabila terdapat cacat pada komposit seperti retak, porositas, atau material komposit melengkung, maka komposit tersebut tidak dapat digunakan dan proses pembentukannya harus diulang dari awal.

3.5.3 Pembentukan spesimen

Setelah komposit dinyatakan layak, maka komposit dibentuk menjadi specimen uji. Spesimen uji dibentuk dengan alat bantu gerinda tangan. Proses pembentukan harus dilakukan dengan hati-hati, agar material komposit tidak pecah selama proses pembentukan menjadi spesimen untuk uji mekanik. Dimensi spesimen yang dibentuk mengacu terhadap standar pengujian bending ASTM D790.

3.6 Penghitungan Massa Jenis Komposit

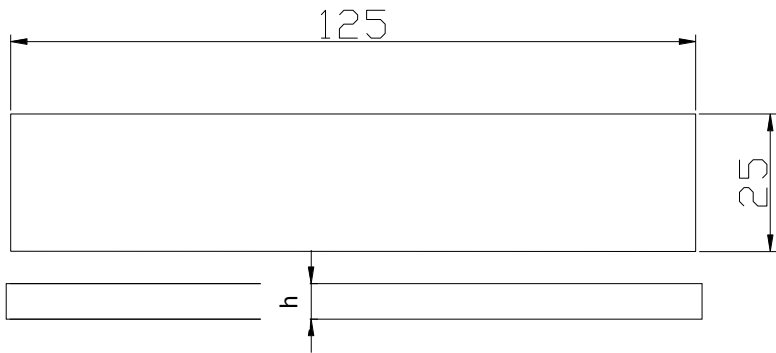
Sebelum dilakukan pengujian bending, spesimen uji harus dihitung terlebih dahulu massa jenisnya. Untuk perhitungan berat digunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volume digunakan teori dasar Archimedes yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut.

Setelah spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya, spesimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur dengan volume air 160 ml didalamnya. Maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume spesimen tersebut.

3.7 Pelaksanaan Uji Bending

3.7.1 Spesimen Uji Bending

Pembuatan spesimen uji bending berdasarkan standar dari “*Standard Test Method for Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” D790 yang dikeluarkan oleh ASTM. Bentuk dan ukuran spesimen uji bending sesuai dengan gambar 3.13. Mesin uji yang digunakan adalah mesin uji tarik – bending Shimadzu AG-X milik Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil ITS dengan kapasitas maksimum sebesar 5 kN untuk pengujian spesimen. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik $P - \Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji serta kekuatan bending dan defleksi.

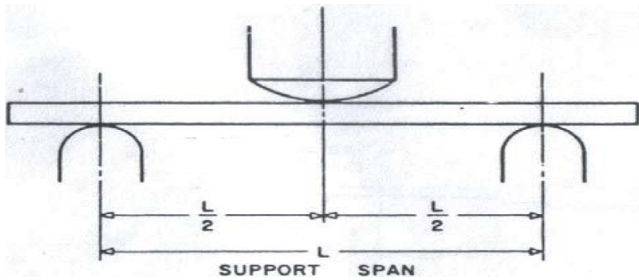


Gambar 3.12 Spesimen Uji Bending (dimensi dalam mm) [20]

3.7.2 Prosedur Pengujian Bending

Prosedur pengujian bending yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
 - Panjang awal (L_0)
 - Lebar (b)
 - Tebal (h)
3. Memasang spesimen pada posisi tengah antara kedua lengan tumpuan
4. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
5. Setelah patah, spesimen diambil
6. Pencatatan data yang didapatkan berupa kekuatan bending dan defleksi



Gambar 3.13 Sketsa pengujian bending (dimensi dalam mm)
[20]

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Uji

Berikut adalah hasil dari pengukuran dimensi material komposit polyester dan *hollow glass microspheres* (HGM). Spesimen dengan kode A adalah material komposit yang di *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, sedangkan untuk kode B adalah material komposit yang di *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam lalu dilakukan *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam. Dan untuk kode C adalah material komposit yang di *curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam.

Tabel 4.1 Dimensi Spesimen Uji Komposit Polyester - *Hollow Glass Microsphere*

Kode	Fraksi Vol HGM	T. Curing (°C)	P (mm)	L (mm)	t (mm)	Berat (gr)	Vol (ml)	ρ (gr/ml)
A10	10%	27°C	125	25	8.1	36.23	30	1.18
			125	25	8.1	37.17	32	
			125	25	8.1	35.26	30	
A11	11%		125	25	8.83	32.57	28	1.17
			125	25	9.04	35	30	
			125	25	8.16	26.39	22	
A12	12%		125	25	6.86	28.68	24	1.19
			125	25	6.2	27.21	22	
			125	25	6.53	25.09	22	
A13	13%		125	25	8.13	30.93	28	1.12
			125	25	8.56	31.63	28	
			125	25	7.93	29.90	26	
A14	14%		125	25	8.28	30.93	24	1.19
			125	25	7.8	30.32	26	
			125	25	7.7	26.84	24	
A15	15%		125	25	8.26	31.66	26	1.24
			125	25	7.93	29.53	24	
			125	25	8.7	30.90	24	
A16	16%		125	25	7.53	29.15	26	1.15
			125	25	6.56	26.60	22	
			125	25	6.43	24.69	22	
A17	17%		125	25	7.3	29.89	26	1.13
			125	25	6.83	26.87	24	
			125	25	6.83	25.26	22	

B10	10%	27°C + 90°C	125	25	8.36	33.85	28	1.20
			125	25	7.33	28.22	24	
			125	25	7.2	26.93	22	
B11	11%		125	25	7.2	30.38	26	1.17
			125	25	7.2	30.01	26	
			125	25	7.13	28.60	24	
B12	12%		125	25	8.6	31.87	26	1.21
			125	25	8.16	31	26	
			125	25	8.23	31.60	26	
B13	13%		125	25	8.8	33.29	30	1.14
			125	25	7.54	30.31	26	
			125	25	7.8	30.51	26	
B14	14%		125	25	8.1	32.69	28	1.15
			125	25	8.34	32.27	28	
			125	25	7.81	30.02	26	
B15	15%		125	25	7.7	32.18	28	1.15
			125	25	7.1	29.60	26	
			125	25	6.63	25.98	22	
B16	16%		125	25	7.16	29.64	24	1.19
			125	25	7.06	27.71	24	
			125	25	6.7	26	22	
B17	17%		125	25	8.15	34.47	28	1.23
			125	25	7.71	31.77	26	
			125	25	7.43	22.77	18	
C10	10%	90°C	125	25	10.2	34.10	30	0.95
			125	25	9.9	34.32	40	
			125	25	10.36	31.19	36	
C11	11%		125	25	8.8	30.57	28	1.16
			125	25	7.76	28.64	24	
			125	25	7.73	28.90	24	
C12	12%		125	25	8.8	28.55	24	1.21
			125	25	7.76	29.99	24	
			125	25	7.8	28.81	24	
C13	13%		125	25	9.37	32.33	30	1.09
			125	25	7.91	26.69	24	
			125	25	6.96	24.02	22	
C14	14%		125	25	7.33	28.95	24	1.17
			125	25	7.26	25.59	22	
			125	25	6.7	25.61	22	
C15	15%		125	25	7	27.92	22	1.16
			125	25	6.3	23.07	20	
			125	25	6	21.29	20	
C16	16%		125	25	7.83	32	28	1.15
			125	25	7.66	29	24	
			125	25	7.36	26.84	24	
C17	17%		125	25	8.2	32.44	30	1.09
			125	25	8.3	32.18	30	
		125	25	7.73	29	26		

Dimana:

Kode A = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam

Kode B = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam
dan *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam

Kode C = spesimen *curing* temperatur 90°C selama 5 jam

4.2 Data Hasil Pengujian Bending Komposit

Pengujian bending dilakukan menggunakan mesin uji tarik – bending Shimadzu milik Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS sesuai dengan standar pengujian bending ASTM D790. Berikut merupakan data hasil pengujian bending komposit polyester – HGM:

Tabel 4.2 Hasil Uji Bending Material Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres Curing* Temperatur 27°C Selama 24 jam

Kode	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	
A 10	2344,35	60	25	8,1	128,63	126,61
	2360,14	60	25	8,1	129,50	
	2218,1	60	25	8,1	121,70	
A 11	2037,72	60	25	8,83	94,086	90,47
	2173,56	60	25	9,04	95,74	
	1509,31	60	25	8,16	81,60	
A 12	1544,7	60	25	6,86	118,16	119,30
	1430,11	60	25	6,2	133,93	
	1253,41	60	25	6,53	105,82	
A 13	2068,18	60	25	8,13	112,64	103,88
	1970,19	60	25	8,56	96,79	
	1785,51	60	25	7,93	102,21	

A 14	2106,28	60	25	8,28	110,60	97,18
	1531,14	60	25	7,8	90,6	
	1487,89	60	25	7,7	90,34	
A 15	1976,89	60	25	8,26	104,30	95,90
	1797,76	60	25	7,93	102,91	
	1692,54	60	25	8,7	80,50	
A 16	1555,13	60	25	7,53	98,73	96,42
	1255,12	60	25	6,56	104,99	
	982,39	60	25	6,43	85,53	
A 17	1155,38	60	25	7,3	78,05	86,93
	1324,68	60	25	6,83	102,22	
	1043,34	60	25	6,83	80,51	

Tabel 4.3 Hasil Uji Bending Material Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres Curing* Temperatur 27°C Selama 24 jam dan *Post-Curing* Temperatur 90°C Selama 5 jam

Kode	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	
B 10	2225,88	60	25	8,36	114,65	111,98
	1661,56	60	25	7,33	111,32	
	1583,46	60	25	7,2	109,96	
B 11	1562,27	60	25	7,2	108,49	117,63
	1660,14	60	25	7,2	115,28	
	1823,39	60	25	7,13	129,12	
B 12	1843,47	60	25	8,6	89,73	93,22
	1496,84	60	25	8,16	80,92	
	2051,34	60	25	8,23	109,02	
B 13	994,246	60	25	8,8	46,22	88,37
	1734,62	60	25	7,54	109,84	
	1843,33	60	25	7,8	109,07	

B 14	2014,59	60	25	8,1	110,53	109,08
	2081,12	60	25	8,34	107,71	
	1847,09	60	25	7,81	109,01	
B 15	669,626	60	25	7,7	40,65	90,07
	1642,43	60	25	7,1	117,29	
	1370,98	60	25	6,63	112,28	
B 16	1727,5	60	25	7,16	121,30	112,89
	1499,76	60	25	7,06	108,32	
	1359,82	60	25	6,7	109,05	
B 17	2203,4	60	25	8,15	119,42	97,08
	1593,25	60	25	7,71	96,48	
	1155,59	60	25	7,43	75,35	

Tabel 4.4 Hasil Uji Bending Material Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Curing Temperatur 90°C Selama 5 jam

Kode	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	
C 10	1315,32	60	25	10,2	45,51	43,27
	1251,63	60	25	9,9	45,97	
	1143,33	60	25	10,3	38,34	
C 11	158,912	60	25	8,8	7,38	6,18
	88,2491	60	25	7,76	5,27	
	98,0401	60	25	7,73	5,90	
C 12	1906,81	60	25	8,8	88,64	94,33
	1697,49	60	25	7,76	101,48	
	1569,51	60	25	7,8	92,87	
C 13	278,839	60	25	9,37	11,43	13,15
	214,177	60	25	7,91	12,32	

	211,541	60	25	6,96	15,72	
C 14	1065,37	60	25	7,33	71,38	71,95
	773,372	60	25	7,26	52,82	
	1142,8	60	25	6,7	91,64	
C 15	735,424	60	25	7	54,03	52,11
	604,14	60	25	6,3	54,79	
	475,172	60	25	6	47,51	
C 16	1492,95	60	25	7,83	87,66	79,44
	1138,95	60	25	7,66	69,87	
	1215,78	60	25	7,36	80,79	
C 17	852,504	60	25	8,2	45,64	63,99
	1049,32	60	25	8,3	54,83	
	1519	60	25	7,73	91,51	

Dimana:

Kode A = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam

Kode B = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam
dan *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam

Kode C = spesimen *curing* temperatur 90°C selama 5 jam

4.2.1 Perhitungan *Rule Of Mixture*

Sebelum dilakukan pengujian bending komposit dilakukan penghitungan *Rule Of Mixture* (ROM) terlebih dahulu untuk mengetahui kekuatan komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. Perhitungan *Rule Of Mixture* (ROM) dilakukan pada masing-masing variasi.

Pertama-tama harus diketahui terlebih dahulu kekuatan bending dari polyester murni yakni dengan cara membuat spesimen dengan komposisi 100% polyester dengan variasi temperatur *curing* yang digunakan yaitu *curing* temperatur

27°C selama 24 jam, *curing* 27°C selama 24 jam dan *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan *curing* temperatur 90°C lalu dilakukan pengujian bending. Setelah mendapatkan kekuatan bending dari masing-masing spesimen di variasi temperatur berbeda, baru bisa dilakukan perhitungan kekuatan komposit secara teoritis.

Pada tabel 4.5 adalah perhitungan *Rule of Mixture* (ROM) untuk material komposit yang *dicuring* pada temperatur 27°C selama 24 jam. Kemudian tabel 4.6 untuk material komposit yang *dicuring* pada temperatur 27°C selama 24 jam dan dilakukan *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan tabel 4.7 untuk material komposit yang *dicuring* pada temperatur 90°C selama 5 jam.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* *Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam

Prosentase HGM	Prosentase Polyester	Kekuatan Polyester (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM (Mpa)
10%	90%	116.06	193.05	123.75
11%	89%	116.06	193.05	124.52
12%	88%	116.06	193.05	125.29
13%	87%	116.06	193.05	126.06
14%	86%	116.06	193.05	126.83
15%	85%	116.06	193.05	127.60
16%	84%	116.06	193.05	128.37
17%	83%	116.06	193.05	129.14

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* *Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam dan *Post-Curing* Temperatur 90°C Selama 5 Jam

Prosentase HGM	Prosentase Polyester	Kekuatan Polyester (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM (Mpa)
10%	90%	114,05	193.05	121.95
11%	89%	114,05	193.05	122.74
12%	88%	114,05	193.05	123.53
13%	87%	114,05	193.05	124.32
14%	86%	114,05	193.05	125.11
15%	85%	114,05	193.05	125.9
16%	84%	114,05	193.05	126.69
17%	83%	114,05	193.05	127.48

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Curing Temperatur 90°C Selama 5 Jam

Prosentase HGM	Prosentase Polyester	Kekuatan Polyester (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM (Mpa)
10%	90%	16.25	193.05	33.93
11%	89%	16.25	193.05	35.69
12%	88%	16.25	193.05	37.46
13%	87%	16.25	193.05	39.23
14%	86%	16.25	193.05	41.00
15%	85%	16.25	193.05	42.77
16%	84%	16.25	193.05	44.53
17%	83%	16.25	193.05	46.30

Dari masing-masing tabel *Rule Of Mixture* (ROM) diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan prosentase HGM pada masing-masing variasi meningkatkan tegangan bending komposit.

4.2.2 Perbandingan *Density* Komposit Secara Teori dengan *Density* Secara Eksperimen

Setelah proses perhitungan kekuatan komposit menggunakan teori *Rule Of Mixture* kemudian dilakukan perhitungan massa jenis material komposit. Dari tabel 4.8 diperoleh data massa jenis material komposit untuk prosentasi HGM 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17%. Penambahan prosentase HGM berpengaruh terhadap massa jenis komposit. Dimana semakin besar prosentase HGM maka massa jenisnya semakin ringan. Hal tersebut dikarenakan massa jenis HGM sebagai *reinforcement* yang lebih ringan dibandingkan massa jenis polyester sebagai *matrix*.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Density* Teoritis Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres*

Kode Spesimen	Prosentase HGM	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Vol Spesimen (cm ³)	Vol HGM (ml)	Berat HGM (gr)	Vol Polyester (ml)	Berat Polyester (gr)	Berat Komposit (gr)	Massa Jenis (gr/cm ³)	Massa Jenis rata-rata (gr/cm ³)
A10	10%	12,5	2,5	1	31,25	3,125	1,875	28,125	33,1875	35,0625	1,122	1,122
B10	10%	12,5	2,5	1	31,25	3,125	1,875	28,125	33,1875	35,0625	1,122	
C10	10%	12,5	2,5	1	31,25	3,125	1,875	28,125	33,1875	35,0625	1,122	
A11	11%	12,5	2,5	1	31,25	3,4375	2,0625	27,8125	32,81875	34,88125	1,1162	1,1162
B11	11%	12,5	2,5	1	31,25	3,4375	2,0625	27,8125	32,81875	34,88125	1,1162	
C11	11%	12,5	2,5	1	31,25	3,4375	2,0625	27,8125	32,81875	34,88125	1,1162	
A12	12%	12,5	2,5	1	31,25	3,75	2,25	27,5	32,45	34,7	1,1104	1,1104
B12	12%	12,5	2,5	1	31,25	3,75	2,25	27,5	32,45	34,7	1,1104	
C12	12%	12,5	2,5	1	31,25	3,75	2,25	27,5	32,45	34,7	1,1104	
A13	13%	12,5	2,5	1	31,25	4,0625	2,4375	27,1875	32,08125	34,51875	1,1046	1,1046
B13	13%	12,5	2,5	1	31,25	4,0625	2,4375	27,1875	32,08125	34,51875	1,1046	
C13	13%	12,5	2,5	1	31,25	4,0625	2,4375	27,1875	32,08125	34,51875	1,1046	
A14	14%	12,5	2,5	1	31,25	4,375	2,625	26,875	31,7125	34,3375	1,0988	1,0988
B14	14%	12,5	2,5	1	31,25	4,375	2,625	26,875	31,7125	34,3375	1,0988	
C14	14%	12,5	2,5	1	31,25	4,375	2,625	26,875	31,7125	34,3375	1,0988	
A15	15%	12,5	2,5	1	31,25	4,6875	2,8125	26,5625	31,34375	34,15625	1,093	1,093
B15	15%	12,5	2,5	1	31,25	4,6875	2,8125	26,5625	31,34375	34,15625	1,093	
C15	15%	12,5	2,5	1	31,25	4,6875	2,8125	26,5625	31,34375	34,15625	1,093	
A16	16%	12,5	2,5	1	31,25	5	3	26,25	30,975	33,975	1,0872	1,0872
B16	16%	12,5	2,5	1	31,25	5	3	26,25	30,975	33,975	1,0872	
C16	16%	12,5	2,5	1	31,25	5	3	26,25	30,975	33,975	1,0872	
A17	17%	12,5	2,5	1	31,25	5,3125	3,1875	25,9375	30,60625	33,79375	1,0814	1,0814
B17	17%	12,5	2,5	1	31,25	5,3125	3,1875	25,9375	30,60625	33,79375	1,0814	
C17	17%	12,5	2,5	1	31,25	5,3125	3,1875	25,9375	30,60625	33,79375	1,0814	

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan *Density* Eksperimen Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Curing 27⁰C (24 Jam)

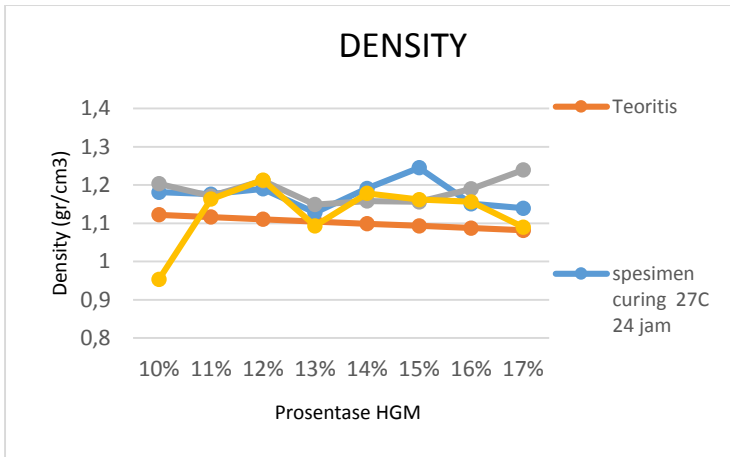
Kode	Berat (gr)	Vol (ml)	Density (gr/ml)	Density Avg
A10_1	36,23	30	1,21	1,18
A10_2	37,17	32	1,16	
A10_3	35,27	30	1,18	
A11_1	32,58	28	1,16	1,18
A11_2	35,00	30	1,17	
A11_3	26,40	22	1,20	
A12_1	28,69	24	1,20	1,19
A12_2	27,21	22	1,24	
A12_3	25,09	22	1,14	
A13_1	30,93	28	1,10	1,13
A13_2	31,64	28	1,13	
A13_3	29,90	26	1,15	
A14_1	30,93	24	1,29	1,19
A14_2	30,33	26	1,17	
A14_3	26,85	24	1,12	
A15_1	31,66	26	1,22	1,25
A15_2	29,54	24	1,23	
A15_3	30,91	24	1,29	
A16_1	29,15	26	1,12	1,15
A16_2	26,61	22	1,21	
A16_3	24,70	22	1,12	
A17_1	29,89	26	1,15	1,14
A17_2	26,88	24	1,12	
A17_3	25,26	22	1,15	

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *Density* Eksperimen Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Curing 27⁰C (24 Jam) + *Post-curing* 90⁰C (5 Jam)

Kode	Berat (gr)	Vol (ml)	Density (gr/ml)	Density Avg
B10_1	33,85	28	1,21	1,20
B10_2	28,22	24	1,18	
B10_3	26,94	22	1,22	
B11_1	30,39	26	1,17	1,17
B11_2	30,01	26	1,15	
B11_3	28,61	24	1,19	
B12_1	31,88	26	1,23	1,21
B12_2	31,00	26	1,19	
B12_3	31,61	26	1,22	
B13_1	33,29	30	1,11	1,15
B13_2	30,32	26	1,17	
B13_3	30,51	26	1,17	
B14_1	32,69	28	1,17	1,16
B14_2	32,27	28	1,15	
B14_3	30,02	26	1,15	
B15_1	32,18	28	1,15	1,16
B15_2	29,60	26	1,14	
B15_3	25,98	22	1,18	
B16_1	29,65	24	1,24	1,19
B16_2	27,71	24	1,15	
B16_3	26,00	22	1,18	
B17_1	34,48	28	1,23	1,24
B17_2	31,78	26	1,22	
B17_3	22,77	18	1,27	

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Density* Eksperimen Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Curing 90⁰C (5 Jam)

Kode	Berat (gr)	Vol (ml)	Density (gr/ml)	Density Avg
C10_1	34,11	30	1,14	0,95
C10_2	34,32	40	0,86	
C10_3	31,19	36	0,87	
C11_1	30,58	28	1,09	1,16
C11_2	28,65	24	1,19	
C11_3	28,90	24	1,20	
C12_1	28,56	24	1,19	1,21
C12_2	30,00	24	1,25	
C12_3	28,81	24	1,20	
C13_1	32,33	30	1,08	1,09
C13_2	26,69	24	1,11	
C13_3	24,02	22	1,09	
C14_1	28,96	24	1,21	1,18
C14_2	25,59	22	1,16	
C14_3	25,62	22	1,16	
C15_1	27,93	22	1,27	1,16
C15_2	23,07	20	1,15	
C15_3	21,30	20	1,06	
C16_1	32,01	28	1,14	1,16
C16_2	29,00	24	1,21	
C16_3	26,84	24	1,12	
C17_1	32,45	30	1,08	1,09
C17_2	32,19	30	1,07	
C17_3	29,01	26	1,12	



Gambar 4.1 Grafik *Density* Komposit Secara Teori dan *Density* Secara Eksperimen Terhadap Prosentase HGM

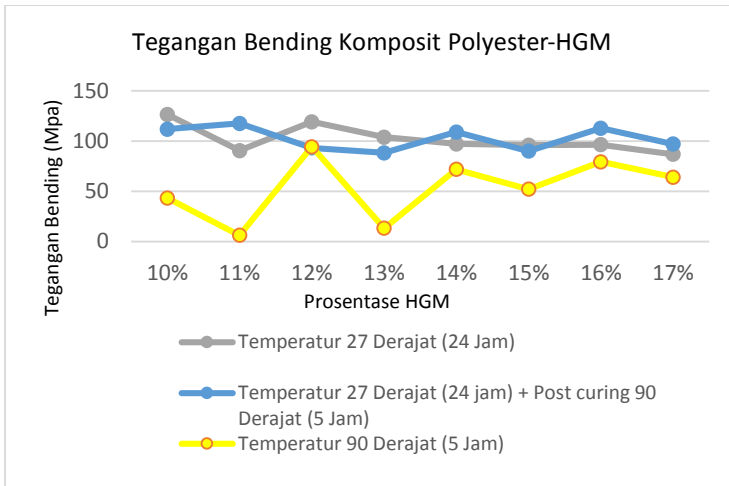
Dari gambar 4.1 dapat terlihat perbandingan *density* komposit yang dihitung secara teoritis, dan *density* komposit hasil eksperimen. Untuk *density* yang dihitung secara teoritis dapat terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya prosentase HGM, maka *density* komposit akan semakin ringan. Hal tersebut disebabkan karena dengan semakin banyaknya penambahan HGM maka berat komposit akan semakin ringan, dikarenakan *density* HGM sendiri yaitu 0.6 gr/cm^3 lebih ringan dibandingkan dengan *density* polyester yang sebesar 1.18 gr/cm^3 .

Terdapat perbedaan antara *density* komposit yang dihitung secara teoritis dan *density* secara eksperimen namun tetap memiliki kecenderungan mengalami penurunan dengan seiring bertambahnya prosentase HGM. Perbedaan ini disebabkan karena pada saat perhitungan *density* secara teoritis hanya menggunakan satu acuan variasi spesimen

(menggunakan acuan variasi temperatur ruang saja). Sedangkan pada kenyataannya, spesimen uji memiliki tiga variasi temperatur *curing*. Hal ini tentu saja menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya perbedaan antara hasil perhitungan *density* secara teoritis dengan *density* secara eksperimen.

Hal lain yang menyebabkan terjadinya perbedaan hasil teoritis dengan hasil eksperimen adalah pada saat proses pembuatan komposit polyester – HGM, faktor penyebabnya yaitu terdapat perbedaan berat total pada material komposit eksperimen. Pada proses pembuatan material komposit, awalnya resin polyester berbentuk cair saat sebelum proses pembuatan, lalu saat setelah material komposit selesai dibuat, resin polyester telah berubah fasanya menjadi padat. Hal ini tentu berpengaruh pada berat yang dihasilkan dari material komposit tersebut. Lalu juga terdapat perbedaan dari berat masing-masing penyusun material komposit pada saat dihitung secara teoritis dan secara eksperimen. Perbedaan ini juga dapat mempengaruhi *density* yang dihasilkan, hal tersebut adalah sebab mengapa *density* secara eksperimen lebih tinggi hasilnya dibandingkan dengan *density* secara teoritis.

4.2.3 Pengaruh Variasi Temperatur *Curing* Terhadap Tegangan Bending Komposit



Gambar 4.2 Grafik Tegangan Bending (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur *Curing* 27°C Selama 24 Jam, Temperatur *Curing* 27°C Selama 24 Jam + *Post-Curing* 90°C Selama 5 Jam, dan Temperatur *Curing* 90°C Selama 5 Jam

Dari hasil pengujian bending pada gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan tegangan bending komposit polyester – HGM dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan *curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 10% hingga 17%. Komposit yang dilakukan proses *curing* pada temperatur ruang memiliki tegangan bending paling tinggi dibanding dengan yang dikenai perlakuan *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam atau *curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam.

Dari gambar 4.2 komposit dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam dengan penambahan fraksi volume HGM sebesar 10% adalah yang memiliki tegangan bending paling tinggi. Tegangan bending paling tinggi yaitu 126.61 Mpa, sedangkan tegangan bending paling rendah pada variasi

temperatur *curing* 27⁰C ini adalah pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 17%, dengan tegangan bending sebesar 86.93 Mpa.

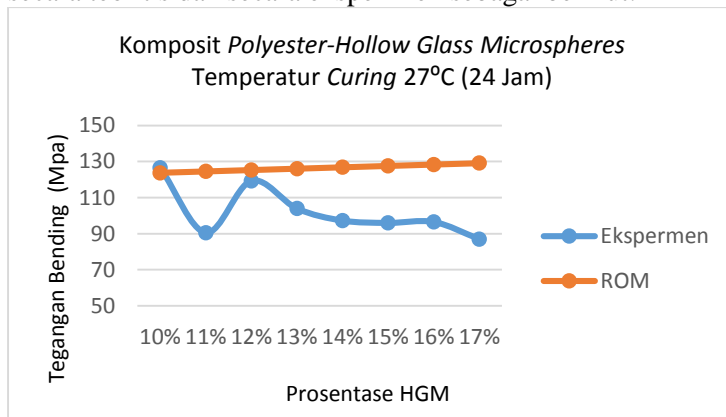
Komposit dengan temperatur *curing* 27⁰C selama 24 jam lalu *post-curing* 90⁰C selama 5 jam memiliki tegangan bending lebih tinggi dibandingkan dengan komposit dengan temperatur *curing* 90⁰C selama 5 jam. Komposit dengan temperatur *curing* 27⁰C selama 24 jam lalu *post-curing* 90⁰C selama 5 jam memiliki tegangan bending paling tinggi pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 11% dengan tegangan bending sebesar 117.63 Mpa, dan tegangan bending paling rendah pada variasi ini terdapat pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 13% dengan tegangan bending sebesar 88.37 Mpa. Sedangkan tegangan bending terendah dari semua variasi temperatur dihasilkan oleh material komposit yang dilakukan *curing* 90⁰C selama 5 jam, pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 11% memiliki tegangan bending 6.18 Mpa.

Hasil eksperimen didapatkan bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur *curing* pada resin polyester maka tegangan bending yang dihasilkan semakin turun. Hal ini disebabkan oleh material komposit telah melewati temperatur *glass-transition* (Tg) dari polyester yang mana adalah sebesar 60⁰C[22]. Tg ini sendiri merupakan salah satu karakteristik *thermal* material yang mengindikasikan titik temperatur tertentu yang apabila terlampaui, maka material komposit yang semula bersifat kaku dan getas akan berubah menjadi ulet. Maka dari itu dalam praktiknya nilai Tg harus lebih besar dari kondisi temperatur material komposit ini bekerja[23]. Namun pada gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa *trendline* grafik dari komposit yang *dicuring* pada temperatur kamar dan komposit yang dilakukan *post-curing* temperatur 90⁰C menurun. Hal ini menunjukkan bahwa dalam jenis komposit tersebut belum terbentuk kualitas *interface* yang baik, sehingga menyebabkan *trendlinenya* menurun. Sedangkan *trendline* grafik dari

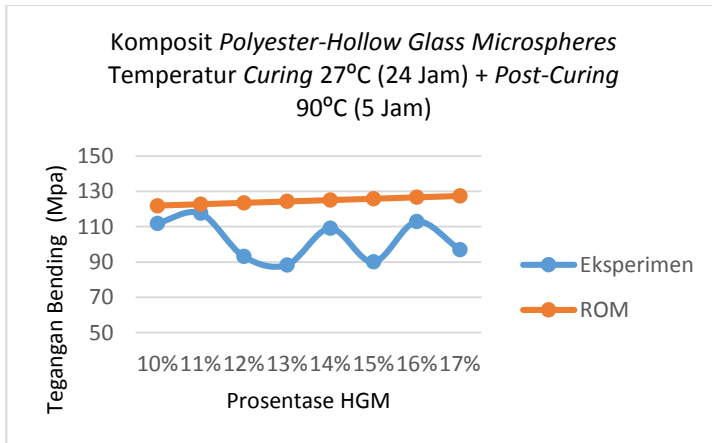
komposit yang *dicuring* pada temperatur 90°C meningkat, yang menunjukkan bahwa pada komposit ini telah terbentuk kualitas *interface* yang baik. Hal-hal mengenai kualitas *interface* ini dapat dilihat pada hasil uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang akan dibahas selanjutnya.

4.2.4 Pengaruh Penambahan Prosentase Volume *Hollow Glass Microspheres* Terhadap Tegangan Bending Komposit

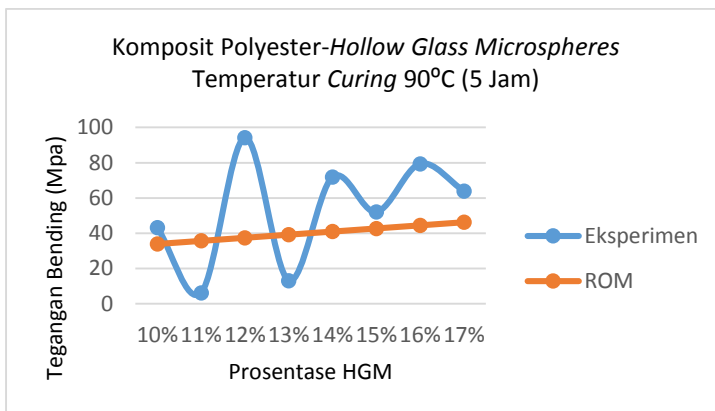
Dengan menggunakan rumus perhitungan *Rule Of Mixture* (ROM) pada material komposit maka secara teoritis tegangan bending komposit dengan penambahan HGM dapat dihitung. Grafik perbandingan antara nilai tegangan bending secara teoritis dan secara eksperimen sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C (24 Jam) Secara Teori *Rule Of Mixture* dan Eksperimen



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Polyester – Hollow Glass Microspheres Temperatur Curing 27°C (24 Jam) dan Post-Curing Temperatur 90°C (5 Jam) Secara Teori Rule Of Mixture dan Eksperimen



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 90°C (5 Jam) Secara Teori *Rule Of Mixture* dan Eksperimen

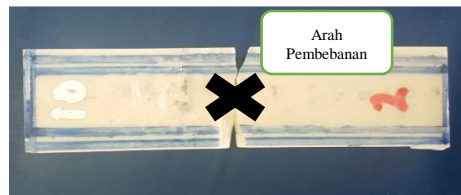
Dari gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.5 diatas dapat dilihat grafiik perbandingan tegangan bending yang dihitung secara teoritis dan tegangan bending hasil eksperimen. Pada hasil perhitungan secara teoritis, material komposit dianggap dalam kondisi yang ideal yaitu adanya ikatan *interface* yang kuat antara resin polyester dengan HGM dan tidak adanya *void* dalam komposit. Penyimpangan dari hasil eksperimen dan hasil perhitungan secara teoritis disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga material komposit tidak berada pada kondisi yang ideal, distribusi penyebaran HGM yang tidak merata, dan tidak kuatnya ikatan *interface* antara resin polyester dan HGM.

Tegangan bending pada masing-masing variasi temperatur mengalami peningkatan pada prosentase volume HGM tertentu lalu juga mengalami penurunan tegangan bending. Peningkatan tegangan bending sampai fraksi volume HGM tertentu disebabkan oleh bentuk partikel HGM yang bulat dan berongga, hal ini dapat membantu menahan laju retakan yang menjalar pada matriks dan turut mentransferkan beban yang terjadi ke butiran HGM lainnya.

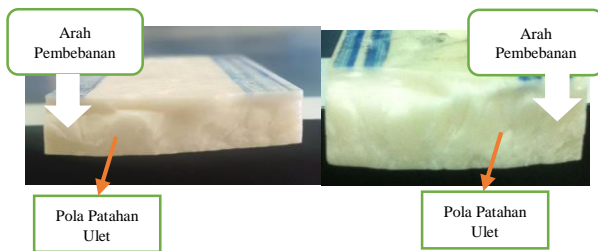
Sedangkan penurunan tegangan bending komposit pada fraksi volume tertentu dikarenakan semakin banyak HGM pada material komposit maka akan semakin sedikit matriks (resin polyester) yang mengikat partikel HGM tersebut. *Aisha Harinnawirda dan Siti Rabbiatull dari Univertiti Pahang Malaysia* [24] menyatakan bahwa penambahan fraksi volume partikel penguat akan berpengaruh pada ikatan *interface* matriks dan penguat, dikarenakan matriks tidak dapat terdistribusi ke seluruh bagian penguat sehingga saat pembebanan terjadi, beban yang ditransfer tidak efisien.

Menurut *Clyne dan Jones (2001)* [25], ikatan *interfacial* antara penguat dan matriks merupakan bagian yang sangat penting dalam mencapai sifat mekanik material komposit yang baik, kekuatan *interface* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik material komposit, dimana *interface* yang lemah akan menyebabkan material komposit mudah rusak.

4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Bending Komposit Polyester – *Hollow Glass Microsphere*



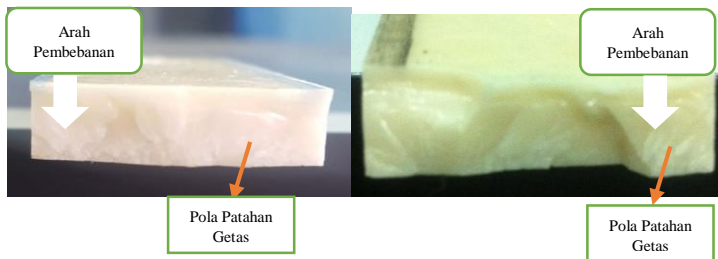
Gambar 4.6 Foto Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam) Hasil Uji Bending dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro



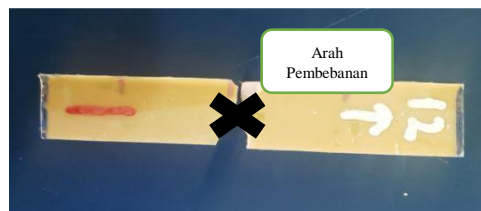
Gambar 4.7 Foto Permukaan Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam)



Gambar 4.8 Foto Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 27⁰C (24 Jam) dan *Post-Curing* 90⁰C (5 Jam) Hasil Uji Bending dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro

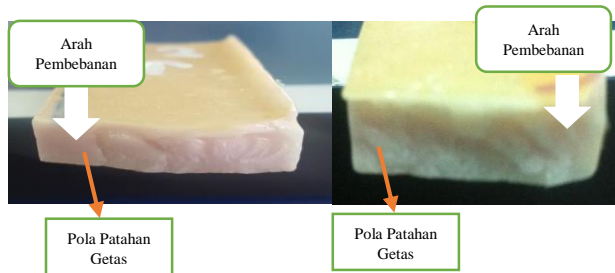


Gambar 4.9 Foto Permukaan Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 27⁰C (24 Jam) dan *Post-Curing* 90⁰C (5 Jam)



Gambar 4.10 Foto Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 90⁰C (5 Jam) Hasil Uji

Bending dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro



Gambar 4.11 Foto Permukaan Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 90°C (5 Jam)

Gambar 4.6 sampai dengan gambar 4.11 diatas merupakan foto patahan dari hasil uji bending komposit, dan juga terdapat foto dari bentuk pola patahannya. Material komposit yang memiliki bentuk patahan ulet cenderung lebih berserabut polanya dibandingkan dengan material komposit yang getas. Hal ini dikarenakan material komposit yang memiliki pola patahan ulet memiliki nilai tegangan bending yang tertinggi, sedangkan material komposit yang memiliki pola patahan getas memiliki nilai tegangan bending yang lebih rendah.

Material komposit yang pola patahannya ulet menandakan bahwa material tersebut cukup kuat untuk menahan beban yang diberikan, sehingga pada saat terjadi patah bentuk pola patahannya berserabut. Berbeda dengan yang memiliki pola patahan getas, hal ini menandakan bahwa material komposit tersebut tidak kuat menahan beban yang diberikan, sehingga langsung mengalami patah tanpa adanya perlawanan yang berarti. Hal inilah yang menyebabkan material komposit dengan pola patahan getas cenderung memiliki hasil patahan yang jauh lebih halus dibandingkan dengan material ulet.

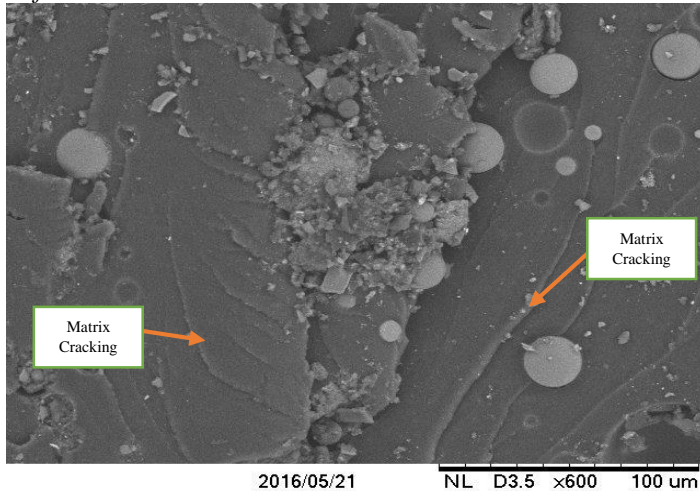
Pola patahan ulet tampak lebih gelap dan berserabut, pola patahan ini biasanya terdapat pada bagian atas pada permukaan patahan. Sedangkan pola patahan getas terlihat lebih terang dan halus. Pola patahan ini relatif terdapat pada bagian bawah permukaan patahan karena adanya gaya tarik pada bagian bawah permukaan komposit. Permukaan dengan pola patahan getas juga merupakan tempat terjadinya *crack initiation* pada komposit, yang mana akan menyebabkan komposit menjadi patah. *Crack initiation* bisa terjadi di bagian atas komposit yang diakibatkan oleh gaya tekan dari indenter, maupun di bagian bawah yang disebabkan oleh gaya tarik.

4.4 Pengamatan Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Pada Patahan Komposit Polyester – *Hollow Glass Microspheres*

Ikatan pada matriks dan *reinforcement* merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara matriks dan *reinforcement* memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada *reinforcement* mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari matriks tersebut.

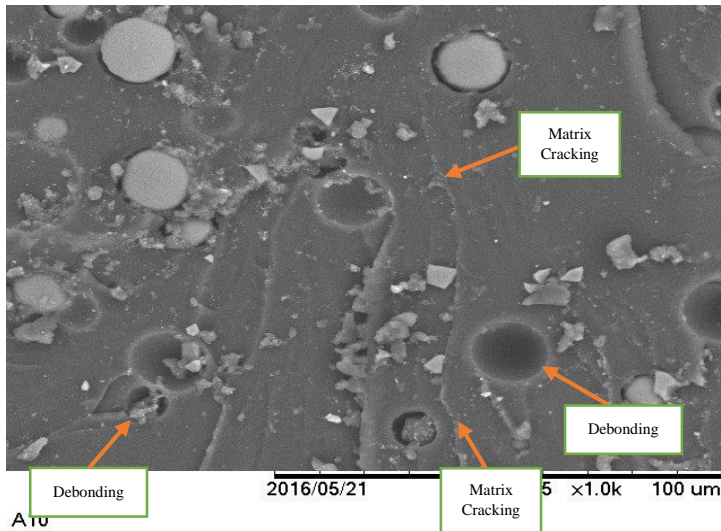
Pada pengamatan pola patahan komposit pengujian bending, didapatkan mekanisme kegagalan komposit yang hampir sama pada tiap spesimen, yaitu adanya *debonding*, dimana *debonding* adalah lepasnya ikatan antara HGM sebagai *reinforcement* dengan polyester sebagai matriks. Hal tersebut terjadi akibat ikatan *interface* antara HGM sebagai *reinforcement* dan matriks polyester yang tidak mampu menahan beban yang diberikan, sehingga menyebabkan partikel HGM terlepas dari matriks. Selain itu terdapat *matrix cracking*. *Matrix cracking* terjadi akibat matriks tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga timbul retakan. *Matrix cracking* banyak dijumpai pada komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume HGM sebesar 10% karena pada penambahan prosentase tersebut volume matriks

lebih dominan. Fenomena *matrix cracking* dapat dilihat melalui pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) seperti pada gambar 4.12, terlihat bahwa awal retakan akan menjalar dari matriks menuju HGM yang berfungsi sebagai *reinforcement*.



A10

Gambar 4.12 Foto SEM Komposit Polyester dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 10% Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam) (Perbesaran 600x)

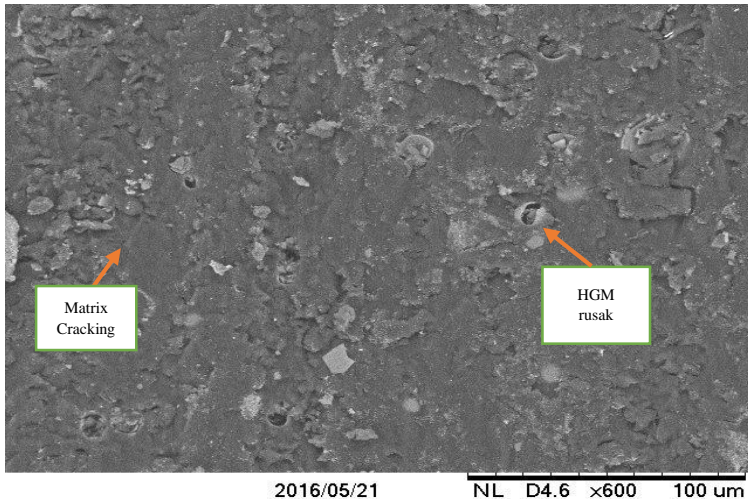


Gambar 4.13 Foto SEM Komposit Polyester dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 10% Temperatur Curing 27⁰C (24 Jam) (Perbesaran 1000x)

Gambar 4.13 merupakan foto hasil SEM komposit polyester – HGM dengan penambahan fraksi volume sebesar 10% temperatur curing 27⁰C (24 Jam) dengan perbesaran 1000x didominasi oleh adanya HGM yang tidak pecah. Pada saat pembebanan terjadi, dapat dilihat bahwa retakan menjalar dari matriks menuju HGM. Hal ini menandakan adanya transfer tegangan bending dari matriks ke HGM sehingga fungsi HGM sebagai *reinforcement* berjalan, dalam hal ini meningkatkan tegangan bendingnya.

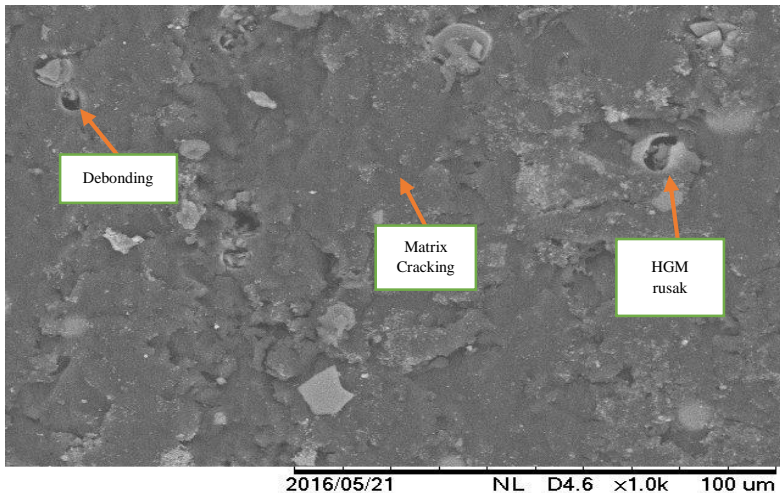
Dalam variasi ini terdapat pula HGM yang mengalami pergeseran karena ikatan antara HGM dengan matriks polyester tidak kuat sehingga menyebabkan *debonding*. *Debonding* disebabkan oleh tidak kuatnya ikatan *interface* antara matriks dengan HGM sehingga beban yang diterima

oleh komposit tidak sepenuhnya disalurkan dari matriks ke HGM, dan ditemukan pula partikel HGM yang rusak / pecah. Sedangkan dari gambar 4.14 dapat dilihat *matrix cracking* yang terjadi. Pada material komposit ini juga ditemukan partikel HGM yang rusak / pecah.



C10

Gambar 4.14 Foto SEM Komposit Polyester dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 10% Temperatur *Curing* 90⁰C (5 Jam) (Perbesaran 600x)



C10

Gambar 4.15 Foto SEM Komposit Polyester dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 10% Temperatur Curing 90°C (5 Jam) (Perbesaran 1000x)

Gambar 4.15 merupakan foto hasil SEM komposit polyester – HGM dengan penambahan fraksi volume HGM 10% temperatur curing 90°C (5 Jam) (Perbesaran 1000x). Dapat dilihat beberapa kegagalan yang terjadi pada material komposit. Terjadinya *matrix cracking* akibat tidak mampunya matriks untuk menahan beban, lalu juga terjadi *debonding* yang disebabkan oleh tidak kuatnya ikatan *interface* antara matriks dengan HGM sehingga beban yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya disalurkan dari matriks ke HGM. Pada material komposit ini juga ditemukan adanya HGM yang rusak.

4.5 Perbandingan Hasil yang Didapat dengan Hasil Eksperimen Sebelumnya (Uji Bending Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres iM30K)

Pada sub bab ini akan dibandingkan hasil yang didapat dari eksperimen yang menggunakan polyester sebagai matriks,

dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh I Dewa Gde Budhita pada tahun 2014[2] mengenai komposit dengan matriks epoxy dan menggunakan *hollow glass microspheres* (HGM) sebagai *reinforcement*.

Hasil eksperimen yang dilakukan oleh I Dewa Gde Budhita adalah tegangan bending yang paling tinggi didapatkan oleh material komposit pada fraksi volume HGM sebesar 16% yang dilakukan proses *curing* 90⁰C selama 24 jam, senilai 53.884 Mpa. Sedangkan hasil yang didapatkan dari eksperimen yang telah dilakukan adalah tegangan bending paling tinggi dihasilkan oleh material komposit dengan fraksi volume HGM sebesar 10% yang dilakukan *curing* pada temperatur kamar selama 24 jam, senilai 126.61 Mpa.

Dari hasil yang didapatkan, material komposit yang menggunakan matriks epoxy lebih memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Matriks epoxy juga memiliki sifat lebih ulet dan lebih elastis dibandingkan dengan matriks polyester yang lebih getas dan kaku. Dibandingkan dengan yang menggunakan matriks polyester, polyester tidak tahan pada temperatur tinggi terbukti dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Jadi, penggunaan material baik yang menggunakan matriks epoxy maupun matriks polyester sama-sama memiliki nilai plus dan minus masing-masing, dapat dipilih tergantung kebutuhan penggunaannya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada komposit polyester – *hollow glass microspheres* (HGM), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi volume HGM sebesar 10% dapat meningkatkan tegangan bending komposit. Tegangan bending maksimum sebesar 126.61 Mpa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 10%.
2. Peningkatan temperatur *curing* dapat mengurangi tegangan bending, komposit yang dilakukan proses *curing* selama 24 jam pada temperatur kamar memiliki tegangan bending yang paling tinggi.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Diharapkan dalam pembuatan material komposit lebih diperhatikan proses pengadukan dan pencetakannya agar menghindari adanya udara yang terjebak di dalam material komposit (*void*).
2. Lama proses pencampuran polyester dan *hollow glass microspheres* (HGM) perlu diperhatikan agar campuran yang dihasilkan rata dan HGM dapat tercampur seluruhnya dengan polyester.
3. Penelitian dikembangkan lagi dengan menambahkan *fiberglass* sebagai *reinforcement*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 3M, 3M Glass Bubbles K42HS, 3M Center, St. Paul, USA.
- [2] I Dewa Gde Budhita, Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* Dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Bending Komposit Epoxy-*Hollow Glass Microspheres* iM30K, Teknik Mesin ITS, 2014.
- [3] Widiensyah Ritonga, Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* Dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-*Hollow Glass Microspheres* iM30K, Teknik Mesin ITS 2014.
- [4] Bustan Zhafray, Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* Dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Epoxy- *Hollow Glass Microspheres* iM30K, Teknik Mesin ITS 2016.
- [5] Zahrah Lutfianisa, Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit *Hollow Glass Microspheres* dalam Menyerap Energi Akibat *Impact* Projektil, Teknik Mesin ITS 2015.
- [6] Fadli Adiputra, Pengaruh Variasi Penambahan Jumlah *Layer Glass Fiber* dengan Perbandingan Fraksi Volume yang Tetap Pada Komposit Epoxy-*Hollow Glass Microspheres* Terhadap Karakteristik *Tensile*, Teknik Mesin ITS 2016.
- [7] Syahrafi Widyanpratama, Pengaruh Variasi Penambahan Jumlah *Layer Fiber Glass* dengan Perbandingan Fraksi Volume yang Tetap pada Komposit Epoxy-*Hollow Glass Microspheres* Terhadap Karakteristik Bending, Teknik Mesin ITS 2016.

- [8] Made Rasindradita, Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume *Hollow Glass Microshperes* Komposit Hibrida Lamina dengan Penguat Serat Anyaman Terhadap Karakteristik Tarik dan Bending, Teknik Mesin ITS 2013.
- [9] R.J. Cardeso, A. Shukla, A. Bose, “*Effect of Particle Size and Surface Treatment on Constitutive Properties of Polyester-Cenosphere Composites*”, University of Rhode Island, Journal of Material Science 37 (2012) 603-613.
- [10] R.J. Cardeso, A. Shukla, A. Bose, “*Effect of Particle Size and Surface Treatment on Constitutive Properties of Polyester-Cenosphere Composites*”, University of Rhode Island, Journal of Material Science 37 (2012) 603-613.
- [11] J.S. Huang, L.J. Gibson, “*Elastic Moduli of a Composite of Hollow Spheres in a Matrix*”, Great Britain, Journal Mech. Phys. Solids Vol 41 No 155-75, 1993.
- [12] Mallick, P.K., *Fiber Reinforced Composite Materials, Manufacturing and Design*, Taylor & Francis Group, LLC, 2007.
- [13] www.kanorias.com/saturated_polyester_resin.html
- [14] www.kanorias.com/saturated_polyester_resin.html
- [15] www.justus.co.id/?category/2/yukalac_unsaturated_polyster_resin/22/en
- [16] Alexander Trofinov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back, *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 4446-4850.
- [17] I Made Astika, Studi Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah pada Komposit dengan Serat WR dan CSM, 2009.

- [18] A. Brent Strong, “*Controlling Polyester Curing – A Simplified View*”, Brigham Young University, Undated.
- [19] ASM International, “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*”, Page 117, December 2003.
- [20] Annual Book of ASTM Standards, D790 – 84a, “*Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)*”, American Society for Testing and Materials, 1984.
- [21] Erwin M, Wouterson, Freddy Y.C., Boey, Xiao Hu, Shing-Chung Wang, *Specific Properties and Fracture Toughness of Syntatic Foam: Effect of Foam Microstructure*, Composite Science and Technology 65 (2005) 1840 -1850.
- [22] Wypych, George. *Handbook of Polymers – Unsaturated Polyester*.
- [23] Aruniit, Aare. Kers, Jaan. Krumme, Andres. Poltimae, Triinu. Tall, Kaspar. *Preliminary Study of The Influence of Post Curing Parameters to The Particle Reinforced Composite’s Mechanical and Physical Properties*, Tallinn University of Technology, Estonia, 2011.
- [24] Hardinnawirda, K. Aisha SitiRabbiatull, *Effect of Rice Husks as Filler in Polymer Matrix Composites*, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2012.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Scania Mariella Svenska** dilahirkan di **Surabaya**, pada tanggal **17 Desember 1994**. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan bapak **Efendy Hariono, S.H.** dan ibu **Ir. Indrarini Tenrisau, Dipl., S.E.**

Penulis mengawali jenjang pendidikannya di **TK Pertiwi Kota Surabaya**, lalu penulis mengambil kelas akselerasi semasa SD di **SD Negeri Pacarkeling III Kota Surabaya**. Selanjutnya penulis melanjutkan ke **SMP Negeri 30 Kota Surabaya**, dan **SMA GIKI 2 Kota Surabaya**. Kemudian setelah lulus dari SMA, penulis memutuskan untuk melanjutkan jenjang pendidikannya di salah satu perguruan tinggi negeri terbaik di Indonesia, yaitu **Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya** dengan mengambil **Jurusan Teknik Mesin**.

Selama masa studinya di Jurusan Teknik Mesin ITS, penulis aktif berorganisasi di **Himpunan Mahasiswa Mesin**. Selain itu penulis juga sempat dua kali menjadi juara dalam Pekan Olahraga Mahasiswa ITS (POMITS) pada cabang olahraga karate dan beberapa kejuaraan lain diluar ITS. Pada saat Kerja Praktek, penulis mengambilnya di **PT. Dirgantara Indonesia**. Saat pengambilan Tugas Akhir, penulis mengambil bidang Metalurgi.

Jika memiliki pertanyaan seputar penelitian Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui alamat email: **its.scaniamariella@gmail.com**.